

Impacto da Utilização de Dispositivos de Iluminação Pública de Baixo Consumo Energético

Pedro Miguel Soares Caçote



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Eléctricos de Energia

Porto, Outubro de 2015

Relatório elaborado para satisfação parcial dos requisitos da Unidade Curricular de DSEE -
Dissertação do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

Candidato: Pedro Miguel Soares Caçote, Nº 1130264, 1130264@isep.ipp.pt

Orientação científica: Professor Doutor Roque Filipe Mesquita Brandão,
rfb@isep.ipp.pt



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

Porto, Outubro de 2015

Agradecimentos

Ao meu orientador, o Professor Doutor Roque Filipe Mesquita Brandão por todo o auxílio, disponibilidade e orientação prestados ao longo deste trabalho.

Aos meus pais e irmão, pela paciência, pela ajuda, pelo incentivo, por tudo o que já fizeram por mim pois devo-lhes tudo o que conquistei até hoje.

À minha namorada, que me acompanhou ao longo deste percurso, pela compreensão, pela amizade, pela ajuda, pela paciência e pelo apoio nos momentos mais difíceis.

Aos meus amigos, um obrigado pelo apoio, pela amizade ao longo deste percurso.

Aos meus colegas que frequentaram o mestrado comigo, pela partilha de ideias e conhecimentos.

Resumo

Um dos principais desafios do século XXI prende-se com a evolução para uma economia global sustentável e “limpa”. Com o aumento da população e da procura energética nas últimas décadas, têm-se definido e adotado vários planos de ação a nível mundial para tentar responder aos desafios propostos. Os planos de ação adotados mundialmente visam melhorar o rendimento energético dos produtos, dos edifícios e dos serviços, da produção e distribuição de energia, facilitar o financiamento e a realização de investimentos neste domínio, suscitar e reforçar um comportamento racional em matéria de consumo de energia e consolidar a ação internacional em matéria de eficiência energética. A iluminação pública acompanhou este crescimento de população e consequente aumento das cidades. No entanto surgiram outras preocupações, visto que no passado quando a energia era relativamente barata, os municípios cometeram o erro de instalar mais iluminação em vez de ajustar muitos locais que estavam sobre iluminados. No presente muitos desses municípios estão a reavaliar as suas necessidades de iluminação, devido aos custos mais elevados de energia elétrica e também ao fator ambiental. As tecnologias na área da iluminação pública também sofreram evolução significativa e este projeto visa o estudo do impacto da utilização de dispositivos de iluminação pública de baixo consumo energético numa rua do concelho de Valongo com a finalidade de observar quais as poupanças que se podem obter na fatura energética.

Abstract

One of the main challenges of the 21st century is the evolution to a clean and sustainable worldwide economy. With the increase of the population and energy demand over the last decades, several worldwide measures have been taken to respond to the proposed challenges. The measures adopted globally aim to increase energy efficiency of products, buildings and services, energy production and distribution, facilitate financing and investments in this area, promote a rational behavior in terms of energy consumption and reinforce international action regarding energy efficiency. Public lighting accompanied this population growth and consequent increase in cities. However other concerns emerged, as in the past when energy was relatively cheap, municipalities made the mistake of installing more lighting instead of adjusting many places that were over-lit. In the present many of these municipalities are reassessing all its lighting needs, due to higher costs of electricity and also the environmental factor. The technologies in the public lighting area also suffered significant development and this project aims to study the impact of the use of public lighting devices with low energy consumption in a street of Valongo town hall in order to observe which savings that can be obtained in the energy bill.

Índice

AGRADECIMENTOS.....	V
RESUMO	VII
ABSTRACT	IX
ÍNDICE	XI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XV
ÍNDICE DE TABELAS	XVII
ACRÓNIMOS	XIX
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVOS	1
1.2 METODOLOGIA	2
1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	2
2. CONCEITOS LUMINOTÉCNICOS EM ILUMINAÇÃO PÚBLICA	5
2.1 INTRODUÇÃO	5
2.2 FLUXO LUMINOSO	5
2.3 INTENSIDADE LUMINOSA.....	6
2.4 EFICIÊNCIA LUMINOSA	7
2.5 ILUMINÂNCIA	8
2.6 LUMINÂNCIA	12
2.7 VISÃO	13
2.7.1 Acuidade Visual	13
2.7.2 Curva de Sensibilidade do Olho	14
2.8 CONCLUSÕES	15
3. ILUMINAÇÃO PÚBLICA EM PORTUGAL	17
3.1 INTRODUÇÃO	17
3.2 ILUMINAÇÃO PÚBLICA: LEGISLAÇÃO APLICÁVEL E DOCUMENTO DE REFERÊNCIA	18
3.2.1 Norma Europeia para a iluminação pública – EN 13201	18
3.2.2 EN 13201-1 – Escolha das classes de iluminação.....	19
3.2.3 EN 13201-2 – Parâmetros fotométricos recomendados	31
3.2.4 EN 13201-3 – Cálculo dos parâmetros fotométricos	33

3.2.5	EN 13201-4 – Métodos de medição das performances fotométricas	33
3.2.6	Documento de Referência para a Eficiência Energética na Iluminação Pública	33
3.3	CONSUMO DE ENERGIA NA ILUMINAÇÃO PÚBLICA	34
3.4	CLASSIFICAÇÃO DA VIA E NÍVEIS MÍNIMOS DE REFERÊNCIA	36
3.4.1	Iluminação Pública Funcional	36
3.4.2	Zonas de conflito	39
3.4.3	Zonas Pedonais e Áreas com Baixa Velocidade de Tráfego	40
3.5	CONCLUSÕES	44
4.	TECNOLOGIAS E EQUIPAMENTOS PARA ILUMINAÇÃO PÚBLICA	45
4.1	INTRODUÇÃO	45
4.2	TECNOLOGIAS UTILIZADAS EM SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA	45
4.2.1	Características das lâmpadas	45
4.2.2	Tipos de Lâmpadas.....	48
4.3	EQUIPAMENTOS ACESSÓRIOS	53
4.3.1	Balastros e fontes de alimentação.....	53
4.3.2	Balastros eletromagnéticos (ferromagnéticos)	54
4.3.3	Balastros eletrónicos.....	56
4.4	POSTES DE ILUMINAÇÃO.....	60
4.4.1	Postes ou Colunas de Iluminação	60
4.4.2	Cabos de suspensão	62
4.4.3	Braços em fachadas de edifícios.....	62
4.5	SISTEMAS DE CONTROLO E DE GESTÃO DE ENERGIA.....	63
4.5.1	Sensores crepusculares	64
4.5.2	Relógio astronómico.....	64
4.5.3	Reguladores de Fluxo a instalar à cabeceira do sistema de IP	65
4.5.4	Sistemas de telegestão avançados	69
4.6	CONCLUSÕES	72
5.	ILUMINAÇÃO PÚBLICA EFICIENTE – CASOS PRÁTICOS	75
5.1	INTRODUÇÃO	75
5.2	PROJETO “ALDEIA LED”	75
5.3	PROJETO “ALDEIA LED”	77
5.4	PROJETO “RUA LED”	78
5.5	PROJETO “RUA LED”	79
5.6	PROJETO DE ILUMINAÇÃO NOS EUA	80
5.7	CONCLUSÕES	81

6. AVALIAÇÃO TÉCNICA E ECONÓMICA DE UM CASO PRÁTICO	83
6.1 INTRODUÇÃO	83
6.2 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL	84
6.3 SOLUÇÕES ALTERNATIVAS	86
6.3.1 Regulação de fluxo.....	86
6.3.2 Solução LED	88
6.3.3 Estudo no DIALux	90
6.4 ANÁLISE ECONÓMICA.....	94
6.4.1 Indicadores da avaliação económica	94
6.4.2 Solução LED	96
6.4.3 Regulação de fluxo.....	98
6.4.4 Escolha da melhor solução técnico-económica.....	98
6.5 CONCLUSÕES	99
7. CONCLUSÃO	101
7.1 TRABALHO FUTURO.....	102
BIBLIOGRAFIA.....	103
ANEXOS	105
ANEXO A.....	106
ANEXO B	126

Índice de figuras

FIGURA 2.1 – FLUXO LUMINOSO	5
FIGURA 2.2 – ÂNGULO SÓLIDO [8].....	6
FIGURA 2.3 – INTENSIDADE LUMINOSA [9].....	7
FIGURA 2.4 – ILUMINÂNCIA SOBRE UMA SUPERFÍCIE [8].	8
FIGURA 2.5 - ÂNGULOS USADOS NO CÁLCULO DA ILUMINÂNCIA VERTICAL [10].....	10
FIGURA 2.6 - ÂNGULOS USADOS NO CÁLCULO DA ILUMINÂNCIA SEMICILÍNDRICA [10].	11
FIGURA 2.7 – ESQUEMATIZAÇÃO DA LUMINÂNCIA [8].	13
FIGURA 2.8 - ESQUEMATIZAÇÃO DA ACUIDADE VISUAL [8].	14
FIGURA 2.9 - SENSIBILIDADE RELATIVA DA VISÃO FOTÓPICA E ESCOTÓPICA [8].	15
FIGURA 3.1 - FATOR DE MANUTENÇÃO DE UMA INSTALAÇÃO	28
FIGURA 3.2 - FATOR DE MANUTENÇÃO DA LUMINOSIDADE DA LÂMPADA (FMLL) [2] [8]	29
FIGURA 3.3 - FATOR DE SOBREVIVÊNCIA DA LÂMPADA (FSL) [2] [8]	29
FIGURA 3.4 - FATOR DE MANUTENÇÃO DA LUMINÁRIA (FML) [2] [8].....	30
FIGURA 3.5 - HISTÓRICO DO CONSUMO TOTAL DE ENERGIA ELÉTRICA VS ILUMINAÇÃO DE VIAS PÚBLICAS [6].....	34
FIGURA 3.6 - PERCENTAGEM DO CONSUMO TOTAL DE ENERGIA ELÉTRICA UTILIZADO EM ILUMINAÇÃO DE VIAS PÚBLICAS [6]	35
FIGURA 4.1 – ESQUEMATIZAÇÃO DAS PRINCIPAIS FUNÇÕES DO BALASTRO ELETRÓNICO [10] [20].	57
FIGURA 4.2 – ESQUEMATIZAÇÃO DOS TIPOS DE BALASTROS ELETRÓNICOS [10] [20].	57
FIGURA 4.3 - VÁRIOS TIPOS DE POSTES DE ILUMINAÇÃO EXISTENTES NAS REDES DE IP [10].	60
FIGURA 4.4 - EXEMPLO DE UM CABO DE SUSPENSÃO NUMA REDE DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA [10].	62
FIGURA 4.5 - EXEMPLO DE UM BRAÇO NUMA FACHADA DE EDIFÍCIO [10].....	63
FIGURA 4.6 - EXEMPLO DE FUNCIONAMENTO DE UM REGULADOR DE FLUXO LUMINOSO AO LONGO DO PERÍODO NOTURNO [10].	66
FIGURA 4.7 - COMPARAÇÃO DA PERCENTAGEM DE LÂMPADAS EM FUNCIONAMENTO (ESQUERDA) E DA VARIAÇÃO DO FLUXO LUMINOSO (DIREITA) COM E SEM REGULADOR DE FLUXO [10].....	67
FIGURA 4.8 - ESQUEMATIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE TELEGESTÃO DE UMA REDE DE IP [10]	70
FIGURA 5.1 - ALDEIA DE CABEÇA (SEIA) ILUMINADA A LED [14].	76
FIGURA 5.2 - ALDEIA DE CABEÇA (SEIA) ILUMINADA A LED [14].	76
FIGURA 5.3 - ALDEIA DE CABEÇA (SEIA) ILUMINADA A LED [14].	77
FIGURA 5.4 - ALDEIA DE MONTESINHO (BRAGANÇA) ILUMINADA A LED [15].	78
FIGURA 5.5 - LUMINÁRIAS A LED INSTALADAS NA RUA FIDALGO APRENDIZ, POMBAL [16].	79

FIGURA 5.6 - LUMINÁRIAS A LED INSTALADAS AVENIDA 9 DE ABRIL, ESTREMOZ [18].	80
FIGURA 5.7 – CIDADE DE MANCHESTER, NO ESTADO NORTE-AMERICANO DE NEW HAMPSHIRE ILUMINADA A LED [19].	81
FIGURA 6.1 – LOCAL DE ESTUDO.....	84
FIGURA 6.2 – TIPO DE POSTE	85
FIGURA 6.3 – LUMINÁRIA LUSA N/E x36	88
FIGURA 6.4 - DADOS DA VIA COM SOFTWARE DIALUX	91
FIGURA 6.5 - REPRESENTAÇÃO DA 3D DA VIA	91
FIGURA 6.6 - LINHAS ISOGRÁFICAS DAS FAIXAS DE RODAGEM E VALORES DAS ILUMINÂNCIAS	92
FIGURA 6.7 - LINHAS ISOGRÁFICAS DO PASSEIO 2 E VALORES DAS ILUMINÂNCIAS	93
FIGURA 6.8 - LINHAS ISOGRÁFICAS DO PASSEIO 1 E VALORES DAS ILUMINÂNCIAS	93
FIGURA 6.9 – DIFERENTES INTERPRETAÇÕES DO VAL [21].....	95

Índice de tabelas

TABELA 3.1 - NÍVEL DE LUMINÂNCIA MÉDIA [CD/M ²] PARA VIAS INTERURBANAS [2] [3].	21
TABELA 3.2 - NÍVEL DE LUMINÂNCIA MÉDIA [CD/M ²] PARA VIAS URBANAS [2] [3].	22
TABELA 3.3 - NÍVEL DE ILUMINÂNCIA MÉDIA (LUX) PARA VIAS URBANAS [2] [3].	23
TABELA 3.4 - NÍVEL DE ILUMINÂNCIA MÉDIA (LUX) PARA VIAS URBANAS [2] [3].	24
TABELA 3.5 - NÍVEL DE ILUMINÂNCIA MÉDIA (LUX) PARA VIAS RURAIS [2] [3].	25
TABELA 3.6 – TABELA-RESUMO [2].	27
TABELA 3.7 - FATOR DE MANUTENÇÃO DE UMA INSTALAÇÃO PARA LÂMPADAS DE SÓDIO DE ALTA PRESSÃO TUBULARES E LÂMPADAS DE IODETOS METÁLICOS [2] [3].	28
TABELA 3.8 - FATOR DE MANUTENÇÃO DA LUMINÁRIA (FML) [2] [3].	30
TABELA 3.9 - GRAU DE POLUIÇÃO A TER EM CONSIDERAÇÃO NA ESCOLHA DE UMA LUMINÁRIA [2] [8].	30
TABELA 3.10 - FATOR DE MANUTENÇÃO DA LUMINOSIDADE DA LÂMPADA (FMLL) [2] [8].	31
TABELA 3.11 -FATOR DE SOBREVIVÊNCIA DA LÂMPADA (FSL) [2] [8]	31
TABELA 3.12 – DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS PARA AS CLASSES ME [8].	37
TABELA 3.13 – SELEÇÃO DAS CLASSES DE ILUMINAÇÃO ME [8].	38
TABELA 3.14 – ATRIBUIÇÃO DA CLASSE DA ÁREA DO CONFLITO MEDIANTE A CLASSE DA ESTRADA ADJACENTE [8].	40
TABELA 3.15 – DETERMINAÇÃO DAS ILUMINÂNCIAS MÉDIAS E MÍNIMAS PARA AS VÁRIAS CLASSES P [8].	41
TABELA 3.16 – DETERMINAÇÃO DAS CLASSES DE ILUMINAÇÃO P	41
TABELA 3.17 – INTENSIDADES LUMINOSAS MÁXIMAS TENDO EM CONTA A TEMPERATURA E A CLASSE DA VIA [8].	43
TABELA 4.1 – TEMPERATURA VERSUS APARÊNCIA.	47
TABELA 4.19- TABELA COMPARATIVA ENTRE OS VÁRIOS TIPOS DE TECNOLOGIA [10].	53
TABELA 4.3 – TIPOS DE POSTES DE ILUMINAÇÃO [10].	61
TABELA 4.4 - POUPANÇA ENERGÉTICA COM REGULAÇÃO DE FLUXO PARA CADA TIPO DE LÂMPADA [10].	68
TABELA 6.1 – HORÁRIO DO RELÓGIO ASTRONÓMICO.	86
TABELA 6.2 – HORAS DE FUNCIONAMENTO DA IP.	86
TABELA 6.3 – HORÁRIOS DE FUNCIONAMENTO DO REGULADOR DE FLUXO.	87
TABELA 6.4 – FUNCIONAMENTO DO REGULADOR DE FLUXO.	87
TABELA 6.5 – POUPANÇA OBTIDA.	87

TABELA 6.6 – POUPANÇA COM LUMINÁRIAS LED.	89
TABELA 6.7 – CLASSIFICAÇÃO DA VIA EM QUESTÃO.	90
TABELA 6.8 – CONSUMOS ENERGÉTICOS ANUAIS.	97
TABELA 6.9 – INDICADORES DE INVESTIMENTO VAL, TIR E <i>PAYBACK</i>	97
TABELA 6.10 – CONSUMOS ENERGÉTICOS ANUAIS.	98
TABELA 6.11 – INDICADORES DE INVESTIMENTO VAL, TIR E <i>PAYBACK</i>	98

Acrónimos

AT – Alta Tensão

CPI – Centro Português de iluminação

CIE – *International Commission of Illumination*

CFL – *Compact Fluorescent Lamps*

CENELEC – *European Committee for Electrotechnical*

CSM – Sistema Central de Gestão

EN – Norma Europeia

EMI – *Electromagnetic Interference*

FM – Fator de manutenção

FSL – Fator de sobrevivência da lâmpada

FML – Fator de manutenção da lâmpada

FMLL – Fator de manutenção da luminosidade da lâmpada

IP – Iluminação Pública

IRC – Índice de Restituição de Cor

LED – *Light Emitting diode*

MAT – Muito Alta Tensão

OLC – Controlador da Luminária Exterior

RNAE – Rede Nacional da Associação das Agências de Energia e Ambiente

RFI – *Radio Frequency Interference*

SEEI/MEID – Secretaria de Estado da Energia e da Inovação do Ministério da Economia,
da Inovação e do Desenvolvimento

SC – Controlador de Segmento

VSAP – Vapor de Sódio de Alta Pressão

VSBP – Vapor de Sódio de Baixa Pressão

1. Introdução

1.1 Objetivos

Este projeto tem como objetivo fazer o levantamento de uma parte da iluminação pública de uma rua real, analisar o seu consumo e tipo de tecnologias utilizadas, para posteriormente implementar um conjunto de medidas que otimizem a sua eficiência. Como caso de estudo foi selecionada a freguesia de Ermesinde que pertence ao Concelho de Valongo. Foi escolhido um circuito de iluminação do parque de iluminação pública da freguesia de Ermesinde e foram identificados todos os pormenores relevantes à realização deste estudo. Foram definidas três alternativas para o caso de estudo, a primeira visa recorrer à regulação de fluxo, a segunda passa por substituir a iluminação existente por uma solução LED e a terceira passa por desligar luminárias alternadamente.

Com a realização deste estudo pretende-se obter uma poupança significativa no consumo desta instalação de iluminação pública, sem alterar as condições mínimas luminotécnicas exigidas regulamentarmente e por fim fazer uma retrospectiva às três medidas expostas selecionando a solução que mais benefícios pode trazer a esta freguesia.

1.2 Metodologia

Para levar a cabo objetivo deste projeto é preciso passar antes por várias etapas. Depois de um processo intensivo de pesquisa sobre os temas envolventes desta temática, que estão descritos nos capítulos a seguir, passamos para a descrição do caso prático para depois aplicar as medidas propostas. Por fim e depois de concluída a parte prática apresento os resultados obtidos, seguindo-se as conclusões.

1.3 Estrutura da dissertação

A presente dissertação apresenta mais seis capítulos além deste que é introdutório.

No capítulo dois apresentam-se alguns conceitos luminotécnicos necessários à realização de um projeto de iluminação.

No capítulo três são expostos os alicerces teóricos essenciais à realização deste trabalho. Enceta-se por uma exposição da legislação aplicável à iluminação pública, reunindo todas as normas inerentes ao tema. Segue-se uma pequena análise à evolução do consumo da iluminação pública comparativamente ao consumo total de energia elétrica em Portugal e também à evolução da percentagem do consumo total de energia elétrica utilizado em iluminação de vias públicas. Por fim é explicado como fazer a classificação de uma via pública e quais os níveis de mínimos de referência para a mesma seguindo a orientação do Documento de Referencia para a Eficiência Energética na Iluminação Pública.

No capítulo quatro apresentam-se as tecnologias utilizadas em sistemas de iluminação pública, onde são expostos alguns conceitos como as características das lâmpadas, temperatura da cor das mesmas, rendimento luminoso e índice de restituição de cor. Posteriormente são apresentados os tipos de lâmpadas, equipamentos acessórios, postes de iluminação e sistemas de controlo e gestão de energia utilizados na iluminação pública.

No capítulo cinco são apresentados alguns casos de iluminação pública eficiente em Portugal e também no estrangeiro. São também descritas as poupanças obtidas em cada caso adotando um tipo de iluminação eficiente.

No capítulo seis é apresentado o caso de estudo. Primeiro é feita a sua caracterização e depois são apresentadas duas medidas para melhorar a sua eficiência e consequentemente obter uma poupança na fatura energética. A primeira medida estudada passa por instalar um regulador de fluxo enquanto que a segunda medida passa por substituir as luminárias existentes por luminárias LED. Na sequência da substituição das luminárias é efetuada uma análise económica, retirando alguns indicadores para analisar a viabilidade do investimento. Por último e como terceira medida, é considerada a hipótese de desligar luminárias alternadamente.

Por fim no capítulo sete são apresentadas as conclusões, que reúnem uma análise ao trabalho e aos seus objetivos averiguando se foram ou não atingidos. É também apresentada uma perspetiva de trabalho futuro onde são sugeridas algumas temáticas pertinentes e aliadas ao tema em questão.

2. Conceitos luminotécnicos em iluminação pública

2.1 Introdução

Um sistema de iluminação deve ser adequado à função que vai realizar, uma vez que é um fator essencial para o desempenho humano. Estes sistemas devem ser projetados tendo em conta alguns parâmetros que definem uma iluminação de qualidade e adequada à atividade a realizar. Deste modo o projetista deve avaliar quais as tecnologias que melhor se enquadram no cenário proposto, para assegurar uma iluminação adequada e de qualidade.

2.2 Fluxo Luminoso

É a quantidade de luz emitida em todas as direções por uma fonte de luz. A unidade é o lúmen (lm) [7].



Figura 2.1 – Fluxo luminoso

O valor do fluxo luminoso permite saber a quantidade de luz emitida pela fonte num intervalo de tempo.

$$Q = F \cdot t \quad 2.1$$

em que:

- Q é a quantidade de luz (lm.s);
- F é o fluxo luminoso (lm);
- t é o intervalo de tempo (s).

2.3 Intensidade luminosa

Para compreender esta grandeza é necessário conhecer o conceito de ângulo sólido.

Ângulo sólido pode ser definido como aquele que, visto do centro de uma esfera, percorre uma dada área sobre a superfície dessa esfera, como se pode ver na Figura 2.2 [8].

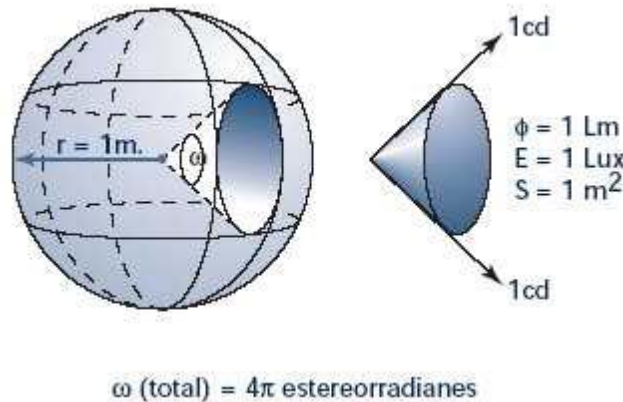


Figura 2.2 – Ângulo Sólido [8]

Assim o ângulo sólido será dado por:

$$\omega = \frac{S}{r^2} \quad 2.2$$

em que:

- ω é o ângulo sólido (sr);
- S é a área de superfície esférica (m²);

- r é o raio da esfera (m).

A intensidade luminosa de uma fonte de luz é igual ao fluxo emitido numa direção por unidade de ângulo sólido nessa direção. A unidade é a candela (cd). A Figura 2.3 mostra o conceito de fluxo luminoso. [8]

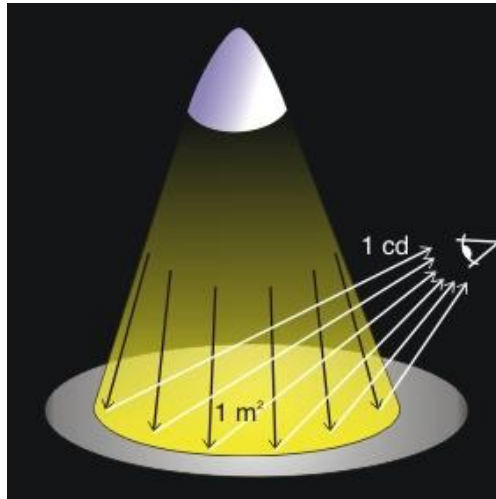


Figura 2.3 – Intensidade Luminosa [9].

A intensidade luminosa é obtida pela expressão:

$$I = \frac{\phi}{\omega} \quad 2.3$$

em que:

- I é a intensidade luminosa (cd);
- ω é o ângulo sólido (sr);
- ϕ é o fluxo luminoso (lm).

2.4 Eficiência Luminosa

A eficiência luminosa (η) de uma fonte é a relação entre o fluxo luminoso total emitido pela fonte (ϕ) e a potência por ela absorvida (P). A unidade SI é o lm/W (lúmen por Watt) [8].

2.5 Iluminância

A iluminância tem como unidade o lux (lx) e, segundo a norma EN 12665, é o quociente entre o fluxo luminoso ($\partial\phi$) incidente num elemento da superfície e a área (∂A) desse elemento [8].

Ou seja, é a quantidade de fluxo luminoso recebido pela unidade de área iluminada:

$$E = \frac{\partial\phi}{\partial A} = \int_{2\pi sr} L \cdot \cos(\theta) \cdot \partial\Omega \quad 2.4$$

Legenda:

E – Iluminância.

L – Luminância num dado ponto nas várias direções dos raios elementares incidentes do ângulo sólido.

$\partial\Omega$ – Ângulo sólido.

θ – Ângulo entre qualquer um dos raios incidentes e a normal à superfície

Na Figura 2.4 podemos ver a iluminância sobre uma superfície. A iluminância é um dos fatores mais importantes a ter em conta no dimensionamento de uma instalação de iluminação, pois deve ser adequada às necessidades bem como ao local.

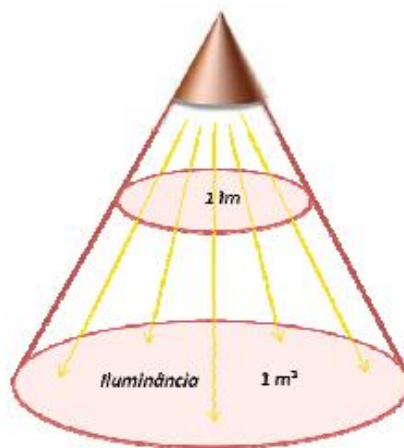


Figura 2.4 – Iluminância sobre uma superfície

[8].

Existem quatro medidas de iluminância possíveis:

- Horizontal (E_h), vulgarmente designada apenas por Iluminância (E).

Os pontos de cálculo devem estar localizados num plano ao nível do chão na área de interesse. Para cada ponto, a iluminância horizontal é calculada pela seguinte fórmula [10]:

$$E = \frac{I \times \cos^3 \varepsilon \times \phi \times MF}{H^2} \quad 2.5$$

Legenda:

E – Iluminância horizontal num ponto, em lux.

I – Intensidade luminosa na direção do ponto, em candelas (cd), normalizada por quilolúmen (klm).

ε - Ângulo de incidência da luz no ponto, em graus.

H – Altura a que se encontra a luminária, em metros.

ϕ - Fluxo luminoso inicial da (s) lâmpada (s) da luminária, em klm.

MF – Produto do fator de manutenção do fluxo da lâmpada (LLMF) com o fator de manutenção da luminária (LMF).

- Vertical (E_v).

Os pontos de cálculo devem igualmente estar localizados num plano a 1,5 metros acima da superfície da área de interesse. Para cada ponto, a iluminância vertical é calculada pela seguinte fórmula [10]:

$$E = \frac{I \times \cos \alpha \times \cos^2 \varepsilon \times \sin \varepsilon \times \phi \times MF}{(1.5 - H)^2} \quad 2.6$$

Nota: Esta fórmula é apenas válida para $\varepsilon \leq 90^\circ$ e $\alpha \leq 90^\circ$.

Legenda:

E – Iluminância semicilíndrica num ponto, em lux.

I – Intensidade luminosa na direção do ponto, em candelas (cd), normalizada por quilolúmen (klm).

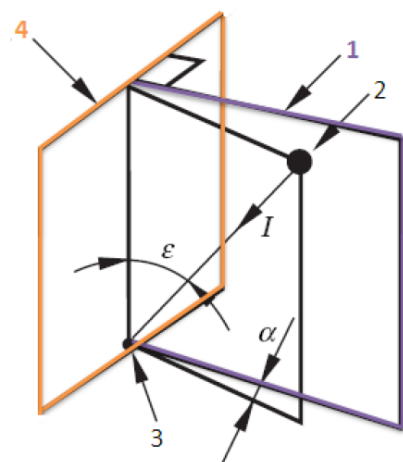
α - Ângulo entre o plano vertical que contém o caminho do raio de luz incidente, com o plano vertical em ângulos retos ao plano vertical de cálculo (Figura 2.5).

ε - Ângulo de incidência da luz no ponto, em graus.

H – Altura a que se encontra a luminária, em metros.

ϕ - Fluxo luminoso inicial da(s) lâmpada(s) da luminária, em klm.

MF – Produto do fator de manutenção do fluxo da lâmpada (LLMF) com o fator de manutenção da luminária (LMF).



Legenda:

1 – Plano vertical ortogonal ao plano de iluminação vertical

2 – Luminária

3 – Ponto de cálculo

4 – Plano vertical de iluminação

Figura 2.5 - Ângulos usados no cálculo da iluminância vertical [10].

➤ Semicilíndrica (Esc)

Os pontos de cálculo devem estar localizados num plano a 1,5 metros acima da superfície da área de interesse. Para cada ponto, a iluminância semicilíndrica é calculada pela seguinte fórmula [10]:

$$E = \frac{I \times [1 + \cos \alpha] \times \cos^2 \varepsilon \times \sin \varepsilon \times \phi \times MF}{\pi \times (1.5 - H)^2} \quad 2.7$$

E – Iluminância semicilíndrica num ponto, em lux.

I – Intensidade luminosa na direção do ponto, em candelas (cd), normalizada por quilolúmen (klm).

α - Ângulo entre o plano vertical que contém o caminho do raio incidente, com o plano vertical em ângulos retos à superfície rebatida do semicilindro (Figura 2.6).

ε - Ângulo de incidência da luz no ponto, em graus.

H – Altura a que se encontra a luminária, em metros.

ϕ - Fluxo luminoso inicial da(s) lâmpada(s) da luminária, em klm.

MF – Produto do fator de manutenção do fluxo da lâmpada (LLMF) com o fator de manutenção da luminária (LMF).

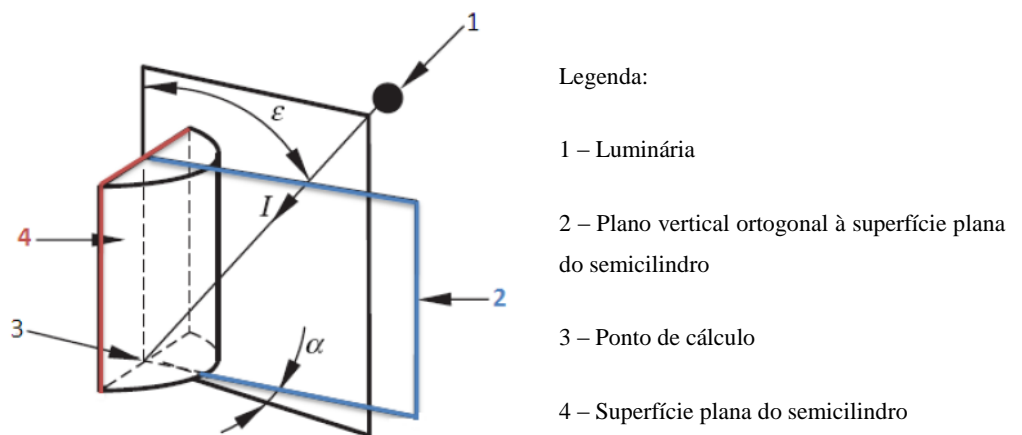


Figura 2.6 - Ângulos usados no cálculo da iluminância semicilíndrica [10].

➤ Hemisférica (Ehem)

Os pontos de cálculo são novamente localizados num plano ao nível do chão, na área de interesse. Para o cálculo da iluminância hemisférica num determinado ponto, recorre-se à seguinte equação [10]:

$$E = \frac{I \times (\cos^3(\varepsilon) \times \cos^2(\varepsilon)) \times \phi \times MF}{4 \times H^2} \quad 2.8$$

E – Iluminância semicilíndrica num ponto, em lux.

I – Intensidade luminosa na direção do ponto, em candelas (cd), normalizada por quilolúmen (klm).

ε - Ângulo de incidência da luz no ponto, em graus.

H – Altura a que se encontra a luminária, em metros.

ϕ - Fluxo luminoso inicial da(s) lâmpada(s) da luminária, em klm.

MF – Produto do fator de manutenção do fluxo da lâmpada (LLMF) com o fator de manutenção da luminária (LMF).

2.6 Luminância

A luminância é uma medida da densidade da intensidade da luz refletida numa dada direção, que descreve a quantidade de luz que atravessa ou é emitida de uma superfície, segundo um ângulo sólido ($\partial\Omega$). Tem como unidade SI a candela por metro quadrado (cd/m^2), igualmente conhecida por nit (nt) e o seu valor é obtido pela seguinte expressão [8]:

$$L = \frac{I}{S_a} \quad 2.9$$

em que:

L é a luminância (cd/m^2);

S_a é a área de superfície aparente (m^2).

A Figura 2.7 ajuda a compreender melhor o conceito de luminância.

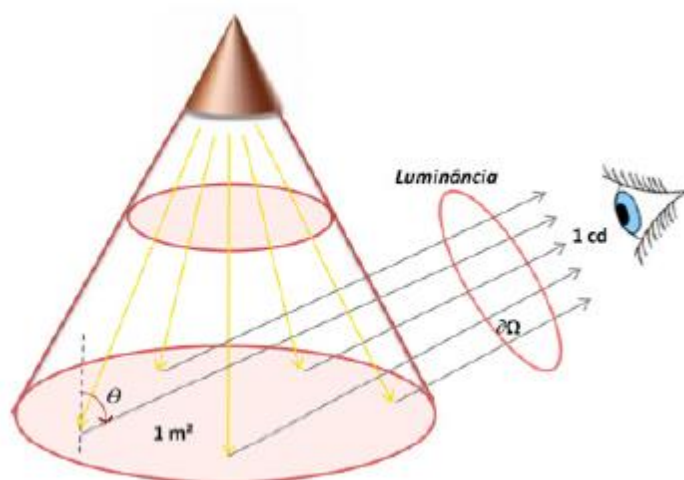


Figura 2.7 – Esquemática da luminância [8].

A distribuição da luminância no campo de visão das pessoas numa área de trabalho, proporcionada pelas várias superfícies dentro da área (luminárias, janelas, teto, parede, piso e superfície de trabalho), deve ser considerada como complemento à determinação das iluminâncias (lux) do ambiente, a fim de evitar ofuscamento [11].

2.7 Visão

2.7.1 Acuidade Visual

A acuidade visual relaciona-se com a capacidade de resolução espacial de dois pontos e depende da densidade dos recetores na retina e do poder de refração do sistema das lentes óticas. Por outras palavras a acuidade visual é a capacidade que o olho tem de reconhecer separadamente, com nitidez e precisão, objetos muito pequenos e próximos entre si. As distâncias na retina são referidas em termos de ângulo visual (θ). Assim, dizemos que a capacidade do olho em distinguir dois pontos está associada a um certo valor de ângulo visual. Quantitativamente, podemos dizer que a acuidade visual é o inverso do ângulo mínimo sob o qual os olhos conseguem distinguir um pormenor [8].

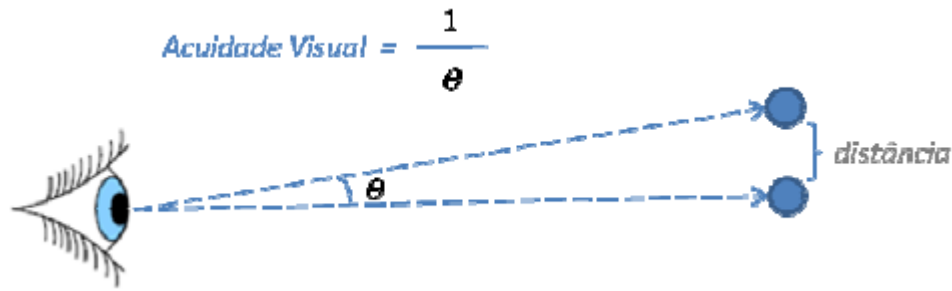


Figura 2.8 - Esquematização da acuidade visual [8].

Existem vários fatores que influenciam a acuidade visual, tais como [8]:

Adaptação – capacidade que o olho humano possui para se ajustar a diferentes níveis de intensidade luminosa, mediante os quais a pupila irá dilatar ou contrair.

Acomodação – é o ajustamento das lentes do cristalino do olho de modo a que a imagem esteja permanentemente focada na retina.

Contraste – é a diferença de luminância entre um objeto que se observa e o seu espaço envolvente.

Idade – A capacidade visual de uma pessoa diminui com a idade, uma vez que, com o passar dos anos, o cristalino endurece, perdendo a sua elasticidade, tornando mais complicada a tarefa de focalização das imagens dos objetos.

2.7.2 Curva de Sensibilidade do Olho

A curva de sensibilidade do olho ajusta a sensibilidade do olho ao longo do dia.

A curva define desde as condições de boa iluminação ($> 3 \text{ cd/m}^2$) que ocorrem durante o período diurno, onde a visão é mais nítida, detalhada e as cores se distinguem perfeitamente, (denominada de visão fotópica, atingindo um valor máximo aos 555nm – amarelo-esverdeado). Quando os níveis de luminância são inferiores a $0,25 \text{ cd/m}^2$, a sensação de cor não existe e a visão é mais sensível aos tons azuis e à luz (denominada de visão escotópica, com um valor máximo aos 493nm – azul-esverdeado). Nas situações existentes entre estes valores, a capacidade para distinguir as cores diminui em conformidade com a diminuição da quantidade da luz, variando a sensibilidade aos tons amarelados para os tons azuis (denominada de visão mesópica). [8]

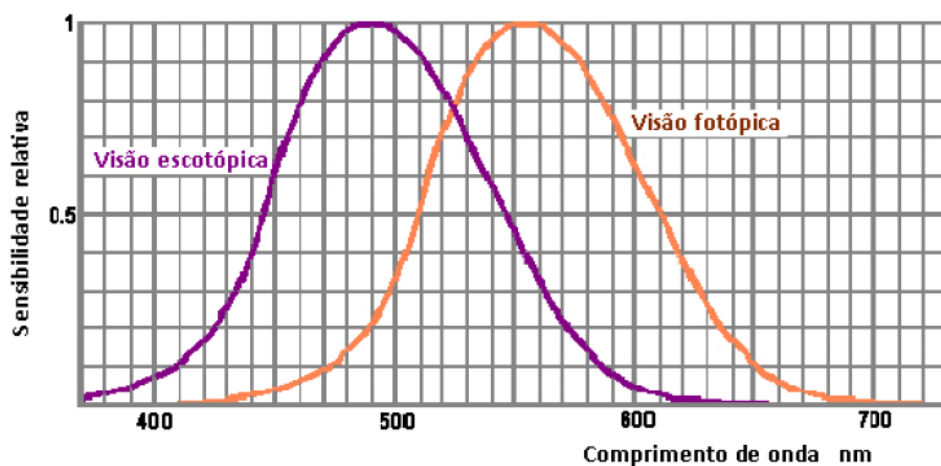


Figura 2.9 - Sensibilidade relativa da visão fotópica e escotópica [8].

Visão fotópica: é a designação dada à sensibilidade do olho em condições de intensidade luminosa que permitam a distinção das cores. Na generalidade corresponde à visão diurna. No olho humano a visão fotópica faz-se principalmente pela ativação dos cones que se encontram na retina [8].

Visão escotópica: é a visão produzida pelo olho em condições de baixa luminosidade. No olho humano os cones não funcionam em condições de baixa luminosidade (noturna), o que determina que a visão escotópica seja produzida exclusivamente pelos bastonetes, o que impossibilita a perceção das cores [8].

Visão mesópica: é a designação dada à combinação da visão fotópica e da visão escotópica, que ocorre em situações de luminosidade baixa, mas não tão baixa que elimine de todo a componente fotópica da visão [8].

Efeito de Purkinje: consiste no deslocamento do máximo de sensibilidade da visão em ser sensível às cores, para o máximo de sensibilidade à luz, com a diminuição da luz recebida pelo olho [8].

2.8 Conclusões

Estes conceitos luminotécnicos são necessários para que se consiga executar um projeto de iluminação com qualidade. O sistema de iluminação é projetado com o objetivo

de melhorar e facilitar o cotidiano das populações, sendo por isso necessário pôr em prática estes conceitos sempre que se realize um projeto de iluminação.

3. Iluminação pública em Portugal

3.1 Introdução

A iluminação pública (IP) é um serviço essencial para o bem-estar das populações. Quer seja em espaço urbano ou rural ela desempenha papéis fulcrais em áreas como a segurança rodoviária, a segurança pessoal dos cidadãos ou mesmo o embelezamento de espaços.

Em Portugal, a Iluminação Pública é responsável por 3% do consumo energético. A tendência desta parcela é para aumentar (cerca de 4 a 5% por ano), o que representa custos muito elevados para os Municípios [1].

Portanto, torna-se fundamental definir um conjunto de medidas direcionadas para o aumento da eficiência energética no parque de IP, sem que isso afete a qualidade de vida nos espaços públicos.

Esta iniciativa terá um dos seus pilares na aplicação de tecnologias mais eficientes em detrimento de tecnologia corrente, permitindo assim reduzir o consumo de energia elétrica, mantendo o mesmo nível de serviço.

Algumas intervenções demonstram que a Eficiência Energética ao nível da IP é já uma realidade:

- Instalação de reguladores do fluxo luminoso;
- Substituição de luminárias e balastros ineficientes ou obsoletos;
- Substituição de lâmpadas de vapor de mercúrio por fontes de luz mais eficientes;
- Instalação de tecnologias de controlo, gestão e monitorização da IP;
- Substituição das fontes luminosas nos sistemas de controlo de tráfego e peões por tecnologia LED;

Para garantir ganhos de eficiência energética ao nível da IP, será futuramente criado um Regulamento que permitirá uma análise, controlo e monitorização rigorosa deste tipo de sistemas contribuindo assim para uma melhoria da sustentabilidade económica e ambiental dos municípios [1].

3.2 Iluminação Pública: Legislação aplicável e Documento de Referência

Quando existe a necessidade de realizar um projeto de iluminação pública, para além de ser indispensável o cumprimento dos requisitos que permitirão obter-se os resultados esperados em termos de iluminação para um determinado local, é igualmente necessário e incontornável o cumprimento da legislação aplicável. Para o efeito, existe a EN 13201, cujas organizações nacionais de normalização dos seguintes países são obrigadas a aplicar a referida Norma: Alemanha, Áustria, Bélgica, Dinamarca, Eslováquia, Espanha, Finlândia, França, Grécia, Holanda, Hungria, Irlanda, Islândia, Itália, Luxemburgo, Malta, Noruega, Portugal, Reino Unido, República Checa, Suécia e Suíça [2].

3.2.1 Norma Europeia para a iluminação pública – EN 13201

A EN 13201, aplicável à iluminação pública, está dividida em quatro partes, que visam o seguinte [2]:

- EN 13201-1: Escolha das classes de iluminação;
- EN 13201-2: Parâmetros fotométricos recomendados [3];
- EN 13201-3: Cálculo dos parâmetros fotométricos [4];

- EN 13201-4: Métodos de medição das performances fotométricas [5].

3.2.2 EN 13201-1 – Escolha das classes de iluminação

A escolha das classes de iluminação tem que obedecer a determinados critérios consoante o tipo de via a que se destina a iluminação. As classes de iluminação existentes são [2]:

- Classes de iluminação M para tráfego motorizado;
- Classes de iluminação C para áreas de conflito;
- Classes de iluminação P para áreas pedestres e áreas onde o tráfego se processe a velocidade reduzida.

Os parâmetros a ser tomados em conta para a classe M são [2]:

- Velocidade (natureza da via): alta ou moderada;
- Geometria (separação de vias, tipos de entradas/saídas na via, áreas de conflito): separação das vias – sim ou não; Densidade de saídas/entradas na via – alta ou moderada;
- Natureza do tráfego (fluxo do tráfego, ciclistas, peões, estacionamento, propensão ao crime/necessidade de reconhecimento facial): apenas motorizado, ou misto com elevada percentagem de não-motorizado;
- Influências ambientais (complexidade do campo visual, luminância envolvente, condições climatéricas);
- Orientação visual, controlo de tráfego: Fraca, boa ou muito boa.

As áreas de conflito ocorrem quando vias de circulação se intersectam ou desembocam em áreas frequentadas por peões, ciclistas ou outros utilizadores e são exemplo de zonas de conflito: cruzamentos, rotundas, estradas de ligação com largura e número de faixas reduzidas, etc [2].

Para a classe C, os parâmetros são [2]:

- Velocidade: alta, moderada ou baixa;
- Volume de tráfego: muito elevado, elevado, moderado, reduzido ou muito reduzido;

- Composição do tráfego: apenas motorizado, misto, ou misto com elevada percentagem de não-motorizado;
- Separação das vias: sim ou não;
- Luminância envolvente: muito alta, alta, moderada, baixa ou muito baixa;
- Orientação visual, controlo de tráfego: pobre, bom, muito bom.

A existência destas áreas tem como resultado o aumento da probabilidade de colisão entre os diversos utilizadores da estrada. Assim, a iluminação destas zonas deverá revelar em especial: a posição dos passeios, as marcas e sinalizações da estrada, a movimentação dos veículos na vizinhança da área e a presença de pedestres, outros utilizadores e de eventuais obstáculos.

Para a classe P, os parâmetros a considerar são [2]:

- Velocidade: baixa ou muito baixa (velocidade de marcha);
- Volume de tráfego: muito elevado, elevado, moderado, baixo ou muito baixo;
- Composição do tráfego: peões, ciclistas e tráfego motorizado; peões e tráfego motorizado; apenas peões e ciclistas; apenas peões; apenas ciclistas.
- Estacionamento de veículos: presente ou ausente;
- Reconhecimento facial: necessário ou não;
- Luminância envolvente: muito alta, alta, moderada, baixa ou muito baixa.

Para efetuar a correspondência entre as classes de iluminação e os critérios a ter em consideração, existem tabelas para o efeito, enunciadas de seguida. Os valores mencionados referem-se à luminância média recomendada para os diversos tipos de vias.

A Tabela 3.1 diz respeito aos valores de luminância média recomendada para as vias interurbanas, nas quais a velocidade máxima autorizada está compreendida entre 70 km/h e 130 km/h.

Tabela 3.1 - Nível de luminância média [cd/m²] para vias interurbanas [2] [3].

Tipo de via	Características	Luminância média [cd/m²]		Norma EN 13201-1	
		Fraca	Elevada	Classe iluminação	Situações
Autoestrada Interurbana (A)	Complexidade: normal Densidade de tráfego: Elevada Distância entre acessos: ≥ 3 km				A1
	$15000 \leq \text{Densidade de tráfego} \leq 25000$	1	1,5	ME2	
	Densidade de tráfego ≥ 25000	1,5	2	ME2 ME1	
Estrada nacional interurbana (B)	Complexidade: normal Veículos em estacionamento: não Densidade de tráfego: elevada Distância entre acessos: ≤ 3 km				A2
	Densidade de tráfego ≤ 7000	1	1,5	ME3	
	Densidade de tráfego ≤ 25000	1,5	2	ME2	
	Densidade de tráfego ≥ 25.000	1,5	2	ME2 ME1	
Estrada secundária interurbana (C)	Complexidade: normal Densidade de tráfego: normal; Distância entre acessos: ≤ 3 por km	0,75		ME4	B2
			1	ME3	

Sendo:

(A) - Vias separadas; Velocidade ≤ 130 km/h; Apenas veículos motorizados;

(B) - Via única; Velocidade ≤ 90 km/h; Veículos motorizados; Veículos motorizados lentos; Ciclistas.

(C) – Velocidade ≤ 90 km/h; Veículos motorizados; Veículos motorizados lentos; Ciclistas.

A Tabela 3.2 diz respeito aos valores de luminância média recomendada para as vias urbanas, nas quais a velocidade máxima autorizada está compreendida entre 70 km/h e 130 km/h.

Tabela 3.2 - Nível de luminância média [cd/m²] para vias urbanas [2] [3].

Tipo de via	Características	Iluminância média [cd/m ²]		Norma EN 13201-1	
		Fraca	Elevada	Classe iluminação	Situações
Circunvalação Autoestrada urbana (D)	Complexidade: elevada Densidade de tráfego: Elevada Distância entre acessos: ≥ 3 km				A1
	$15000 \leq \text{Densidade de tráfego} \leq 25000$	-	1,5	CE2	
	Densidade de tráfego ≥ 25000	-	2	CE2	
Estrada de entrada em cidade (E)	Complexidade: elevada Veículos em estacionamento: não Tráfego de ciclistas: existente Cruzamentos: ≥ 3 por km Densidade de tráfego: elevada	1	1,5	ME3 ME2	B1
Estrada de entrada em localidade (F)	Complexidade: elevada Veículos em estacionamento: sim Tráfego de ciclistas: existente Cruzamentos: ≥ 3 por km Densidade de tráfego: elevada	-	1,5	ME2	B2

Sendo:

(D) - Vias separadas; Velocidade ≤ 110 km/h; Apenas veículos motorizados.

(E) - Via única; Velocidade ≤ 70 km/h; Zona sem habitações; Zona industrial; Veículos motorizados; Ciclistas; Peões.

(F) - Velocidade ≤ 70 km/h; Zona habitacional; Veículos motorizados; Veículos motorizados lentos; Ciclistas; Peões.

A Tabela 3.3 indica os valores de iluminância média recomendada para as vias urbanas, com uma velocidade máxima autorizada de 50 km/h, nas quais as posições de observação são múltiplas e não permitem exprimir valores de luminância significativos.

Tabela 3.3 - Nível de iluminância média (lux) para vias urbanas [2] [3].

Tipo de via	Características	Iluminância média [cd/m ²]		Norma EN 13201-1	
		Fraca	Elevada	Classe iluminação	Situações
Via urbana importante (Praça, avenida) (G)	(1)	-	20	CE2	B2
Via urbana secundária (Rua, avenida) (H)	(2)	10	15	CE4 CE3	B2
Serviço rodoviário (Rua) (I)	(3)	10	15	CE4 CE3	D1 D2 D3 D4

(G) – Velocidade ≤ 50 km/h; Veículos motorizados; Veículos lentos; Ciclistas; Peões.

(1) - Complexidade: elevada; Veículos em estacionamento: sim; Tráfego de ciclistas: existente; Cruzamentos ≥ 3 por km; Densidade de tráfego: elevada.

(H) - Velocidade ≤ 50 km/h; Veículos motorizados; Veículos lentos; Ciclistas; Peões.

(2) - Complexidade: normal a elevada; Veículos em estacionamento: sim; Tráfego de ciclistas: existente; Cruzamentos ≤ 3 por km; Densidade de tráfego: normal.

(I) – Velocidade ≤ 30 km/h; Veículos motorizados; Veículos lentos; Ciclistas.

(3) - Complexidade: normal ou elevada; Veículos em estacionamento: sim; Tráfego de ciclistas ou peões: normal ou elevado; Tráfego automóvel: normal ou elevado; Risco de agressão: normal ou elevado; Reconhecimento da face: necessário.

A Tabela 3.4 indica os valores de iluminância média recomendada para as vias urbanas, com uma velocidade máxima autorizada de 50 km/h, nas quais as posições de observação são múltiplas e não permitem exprimir valores de luminância significativos.

Tabela 3.4 - Nível de iluminância média (lux) para vias urbanas [2] [3].

Tipo de via	Características	Iluminância média [cd/m ²]		Norma EN 13201-1	
		Fraca	Elevada	Classe iluminação	Situações
Via zona comercial (J)	Risco de agressão: elevado Reconhecimento da face: necessário Dificuldade de circulação: elevada Densidade de peões: normal a elevada	-	20	CE2	D2
Via pedonal isolada da estrada Apenas peões	Risco de agressão: elevado Reconhecimento da face: necessário Densidade de peões: normal a elevada	7,5 a 10	15 a 20	S3 a S2 S2 a S1 CE2	E1
Vias de peões; Pista para ciclistas adjacentes a uma estrada	Risco de agressão: normal Reconhecimento da face: necessário Densidade de peões: normal a elevada	7,5 a 10	15	S3 a S2 S2 a S1	E2 C1
Praças, rotundas (K)	Múltiplas interseções Densidade de tráfego: elevada Complexidade: elevada Veículos em estacionamento sim ou não Reconhecimento da face: necessário Risco de agressão: normal	Via de acesso mais iluminada	Praça ou rotunda respetiva	CE1 CE2 CE3 CE4	-
		20	30		
		15	20		
		10	15		
		7,5	10		

Sendo:

(J) – Velocidade ≤ 30 km/h; Veículos motorizados; Veículos lentos; Ciclistas; Peões.

(K) - Veículos motorizados; Veículos lentos; Ciclistas; Peões.

A Tabela 3.5 é específica para as situações respeitantes a zonas rurais, nas quais as performances são sempre indicadas em termos de iluminância.

Tabela 3.5 - Nível de iluminância média (lux) para vias rurais [2] [3].

Tipo de via	Características	Iluminância média [cd/m ²]	Norma EN 13201-1	Classe iluminação	Situações
		Fraca	Elevada		
Via de acesso a localidade (L)	(4)	15	20	CE2	B1
Via de travessia Rua principal (M)	(5)	-	15 a 20	CE3	B2
Via transversal (N)	(6)	7,5 a 10	10	CE5 CE4	D2
Loteamento (O)	(7)	10	15	CE4 CE2	D2
Praças, rotundas (P)	(8)	Via de acesso mais iluminada	Praça ou rotunda respectiva	CE1 CE2 CE3 CE4	-
		20	30		
		15	20		
		10	15		
		7,5	10		

Sendo:

(L) – Velocidade ≤ 70 km/h; Veículos motorizados; Veículos lentos; Ciclistas; Peões.

(4) - Complexidade: normal; Veículos em estacionamento: sim; Tráfego de ciclistas: normal; Cruzamentos ≥ 3 por km.

(M) – Velocidade ≤ 50 km/h; Veículos motorizados; Veículos lentos; Ciclistas; Peões.

(5) - Complexidade: normal; Veículos em estacionamento: sim; Tráfego de ciclistas: normal; Cruzamentos ≥ 3 por km.

(N) – Velocidade ≤ 50 km/h; Veículos motorizados; Veículos lentos; Ciclistas; Peões.

(6) - Complexidade: normal; Veículos em estacionamento: sim; Tráfego de ciclistas: normal; Cruzamentos ≥ 3 por km.

(O) – Velocidade ≤ 30 km/h; Veículos motorizados; Ciclistas; Peões.

(7) - Risco de agressão: normal; Reconhecimento da face: necessário; Dificuldade de tráfego: normal.

(P) – Velocidade ≤ 30 km/h; Veículos motorizados; Ciclistas; Peões.

(8) - Múltiplas interseções; Densidade de tráfego: elevada; Complexidade: elevada; Veículos em estacionamento: sim ou não; Reconhecimento da face: necessário; Risco de agressão: normal.

A Tabela 3.6 apresenta um resumo das tabelas 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 e 3.5 [2].

Tabela 3.6 – Tabela-resumo [2].

Categoria da via	Tabela	Tipo de via
Interurbana	3.1	Autoestrada
		Estrada nacional
		Estrada secundária
Urbana	3.2	Autoestrada urbana Circunvalação Estrada periférica Estrada de entrada em zona habitada ou não habitada
	3.3	Avenida Via secundária Via de serviço
	3.4	Via comercial Via pedonal Pista de ciclismo Passeio Rotunda
Rural	3.5	Via de acesso a localidade Rua principal Via transversal Loteamento Rotunda

O fator de manutenção de uma instalação poderá afetar significativamente a potência da fonte de luz a instalar, bem como o número de luminárias necessárias para alcançar os valores de iluminância/luminância especificados e depende de dois fatores de depreciação: o referente às luminárias e o referente ao fluxo luminoso emitido pelas lâmpadas.

$$FM = FMLL \times FSL \times FML \quad 3.1$$

Onde:

FM: é o fator de manutenção;

FMLL: é o fator de manutenção da luminosidade da lâmpada;

FSL: é o fator de sobrevivência da lâmpada;

FML: é o fator de manutenção da luminária.

A Figura 3.1 apresenta o fator de manutenção de uma instalação (FM).

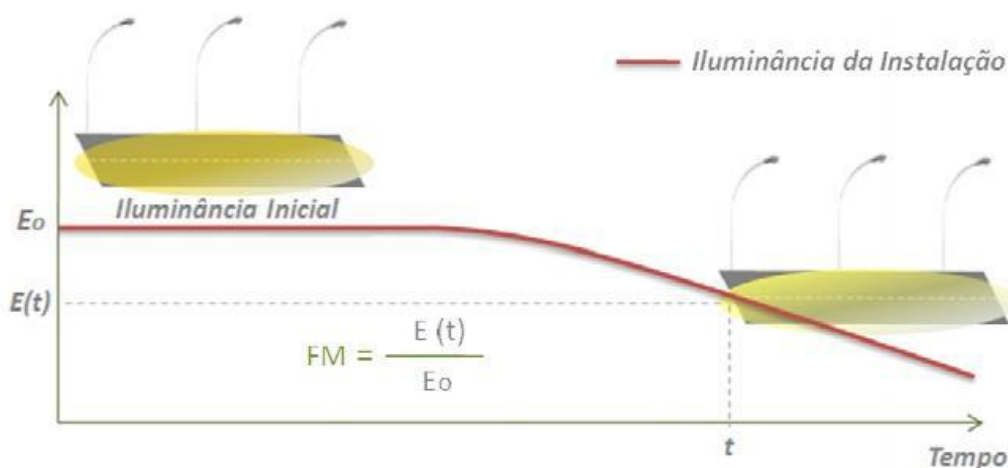


Figura 3.1 - Fator de manutenção de uma instalação [2] [8].

Na Tabela 3.7, são indicados os valores do fator de manutenção da instalação em função dos parâmetros:

- Ciclo de manutenção (8000 horas e 12000 horas);
- Grau de poluição do ambiente (fraco ou forte);
- Características mecânicas da luminária utilizada (material da tampa e índice de proteção);
- Fator de depreciação do fluxo luminoso das lâmpadas utilizadas.

Tabela 3.7 - Fator de manutenção de uma instalação para lâmpadas de sódio de alta pressão tubulares e lâmpadas de iodetos metálicos [2] [3].

Grau de poluição	Horas de funcionamento antes de manutenção (h)	Fator de manutenção da instalação			
		Tipo de lâmpada	IP 55 Tampa de plástico	IP 65	
				Tampa plástica	Tampa em vidro
Fraco	8000	HPS tubular	0,74 a 0,78	0,76 a 0,80	0,81 a 0,86
Grau 1	12000		0,61 a 0,72	0,63 a 0,72	0,68 a 0,78
Forte	8000		0,63 a 0,66	0,68 a 0,72	0,76 a 0,80
Grau 2-3	12000		0,50 a 0,57	0,55 a 0,63	0,63 a 0,72
Fraco	8000	Iodetos metálicos	0,59 a 0,70	0,60 a 0,71	0,66 a 0,76
Grau 1	12000		0,44 a 0,59	0,46 a 0,60	0,49 a 0,66
Forte	8000		0,50 a 0,60	0,55 a 0,65	0,60 a 0,71
Grau 2-3	12000		0,36 a 0,48	0,40 a 0,61	0,46 a 0,61

A Figura 3.2 apresenta o fator de manutenção da luminosidade da lâmpada (FMLL) [EN 12665:2002]. [2]

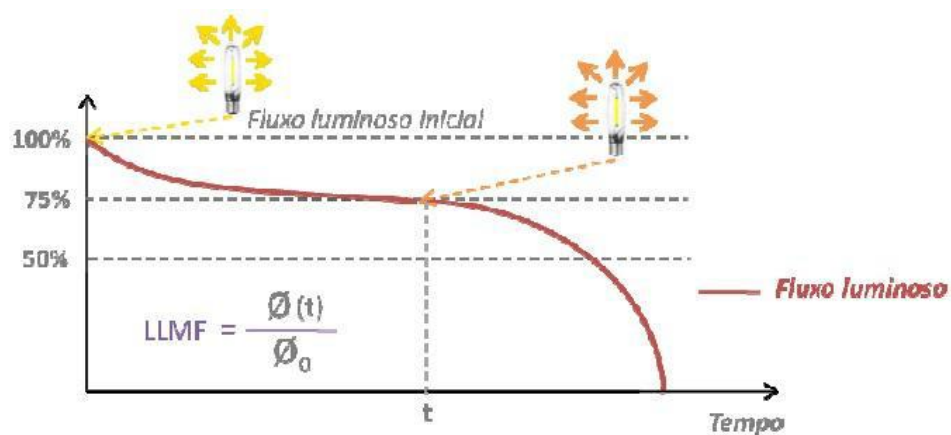


Figura 3.2 - Fator de manutenção da luminosidade da lâmpada (FMLL) [2] [8].

O fator de sobrevivência da lâmpada (FSL) está ilustrado na Figura 3.3 e depende do número de horas de funcionamento.

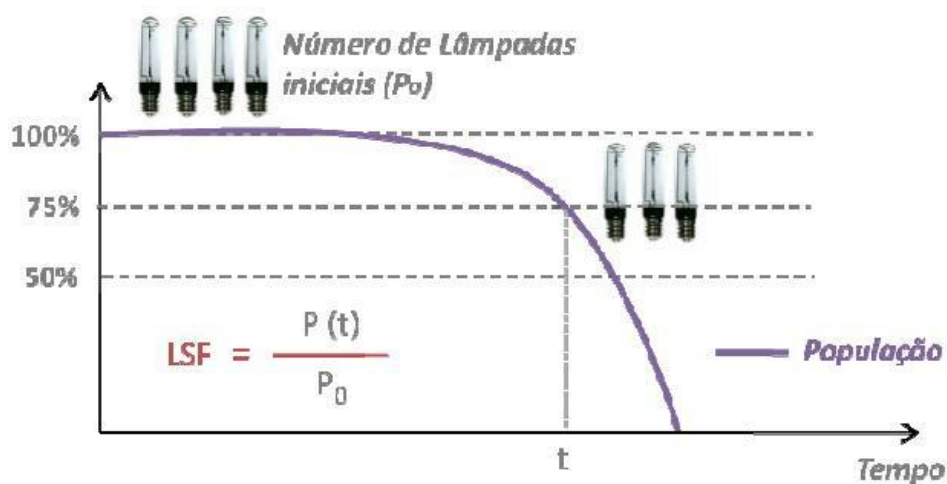


Figura 3.3 - Fator de sobrevivência da lâmpada (FSL) [2] [8].

O fator de manutenção da luminária (FML) está ilustrado na Figura 3.4.

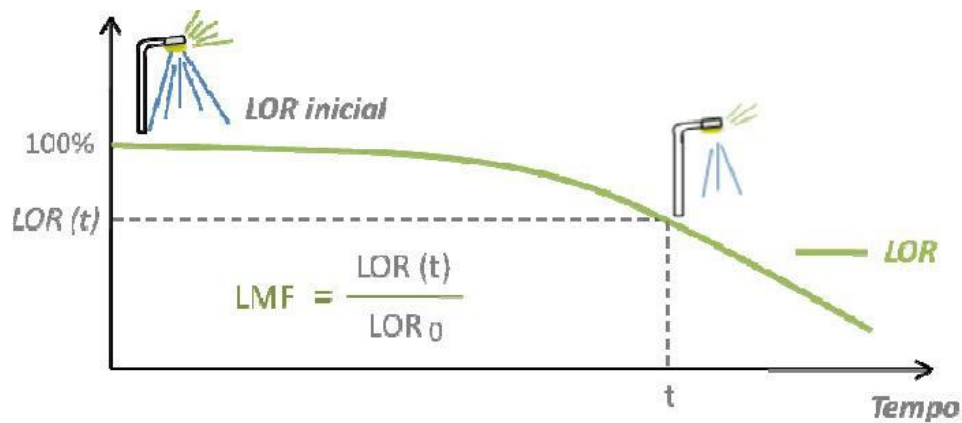


Figura 3.4 - Fator de manutenção da luminária (FML) [2] [8].

A Tabela 3.8 apresenta o fator de manutenção da luminária em função do grau de poluição.

Tabela 3.8 - Fator de manutenção da luminária (FML) [2] [3].

Grau de poluição	Horas de funcionamento antes de manutenção (h)	Fator de manutenção da luminária		
		IP 55 Tampa plástica	IP 65	
			Tampa plástica	Tampa em vidro
Fraco	8000	0,82	0,84	0,90
Grau 1	12000	0,74	0,76	0,82
Forte	8000	0,70	0,76	0,84
Grau 2-3	12000	0,66	0,66	0,76

O grau de poluição numa zona industrial é normalmente superior, por exemplo, ao encontrado numa zona rural. Da mesma forma, o pó seco de uma pedreira é muito diferente do lixo causado pelos insetos. As definições constam na Tabela 3.9.

Tabela 3.9 - Grau de poluição a ter em consideração na escolha de uma luminária [2] [8].

Poluição	Definição
Forte	Fumo gerado por atividades relativamente próximas, envolvendo as luminárias
Fraca	Nível de contaminação ambiente reduzido, não existindo fumo ou poeiras gerados nas proximidades e está presente em zonas residenciais ou áreas rurais, com tráfego ligeiro. Define-se como contendo um nível de partículas no meio $\leq 150 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

O fluxo luminoso associado ao FMLL decresce ao longo do tempo e a taxa exata dependerá do tipo de lâmpada a utilizar e do respetivo balastro. A Tabela 3.10 apresenta os valores associados ao FMLL em função do tipo de lâmpada.

Tabela 3.10 - Fator de manutenção da luminosidade da lâmpada (FMLL) [2] [8].

Fonte de luz	Tempo de operação (horas)				
	4000	6000	8000	10000	12000
HPS	0,98	0,97	0,94	0,91	0,90
Iodetos metálicos	0,82	0,78	0,76	0,74	0,73
LPS	0,98	0,96	0,93	0,90	0,87
LED	-	-	-	-	0,95

O fator de sobrevivência da lâmpada (FSL) é a probabilidade de as fontes de luz continuarem operacionais durante um certo período de tempo e depende do tipo de lâmpada a utilizar, da potência associada, da frequência e do tipo de balastro. Os valores estão ilustrados na Tabela 3.11.

Tabela 3.11 -Fator de sobrevivência da lâmpada (FSL) [2] [8].

Fonte de luz	Tempo de operação (horas)				
	4000	6000	8000	10000	12000
HPS	0,98	0,96	0,94	0,92	0,89
Iodetos metálicos	0,98	0,97	0,94	0,92	0,88
LPS	0,92	0,86	0,80	0,76	0,62
LED	-	-	-	-	0,95

3.2.3 EN 13201-2 – Parâmetros fotométricos recomendados

A norma EN 13201-2 contém os requisitos de performance nas classes definidas (ME1 ... ME6, MEW1 ... MEW6, CE0 ... CE5, S1 ... S6, ES1 ... ES6, A1 ... A6), já incluídos na Tabela 3.1 à Tabela 3.5, para cada caso.

Esta parte da presente Norma define, tomando em consideração requisitos fotométricos, as classes de iluminação para iluminação de vias, tendo em conta as necessidades visuais dos utilizadores, bem como considerando aspetos ambientais da iluminação de vias.

Uma classe de iluminação é definida por um conjunto de requisitos fotométricos cujo objetivo é proporcionar aos utilizadores de um determinado tipo de via as necessidades visuais adequadas, quer para a via em si quer para o ambiente envolvente.

O objetivo da introdução de classes de iluminação é tornar mais fácil o desenvolvimento de produtos de iluminação destinados às vias rodoviárias nos países membros da CEN.

As classes ME são aplicáveis a vias onde se verifique a circulação de veículos motorizados, onde seja praticável velocidade média a alta.

As classes CE têm o mesmo propósito das classes ME, mas para uso em áreas conflituosas, como ruas de comércio, intersecção de vias de alguma complexidade, rotundas e áreas de congestionamento de trânsito (filas). Estas classes têm igualmente aplicação para percursos mistos, i.e., onde a via em causa permita a circulação simultânea de peões e veículos motorizados.

As classes S e A são aplicáveis a percursos de peões e ciclovias (isolados, portanto, da via destinada à circulação normal de veículos), faixas de circulação de veículos de emergência e outras vias que se encontrem separadas da via normal de circulação, bem como áreas de estacionamento, ruas vedadas à circulação de veículos (apenas percursos a pé), etc.

As classes ES são classes adicionais e específicas para situações onde se verifique a necessidade de identificação de pessoas e objetos e em áreas de circulação com risco de crime agravado.

As classes EV são classes adicionais e específicas para situações onde seja necessário visualizar superfícies verticais, tais como zonas de portagem, por exemplo.

Os requisitos das classes de iluminação refletem a categoria do utilizador ou o tipo de via. Assim, as classes ME baseiam-se na luminância da superfície da via, enquanto as classes CE, S e A baseiam-se na iluminação da área da via. As classes S e A refletem diferentes prioridades para a iluminação da via. As classes ES baseiam-se em iluminância semicilíndrica, enquanto as classes EV baseiam-se na iluminação do plano vertical.

O intuito em iluminar zonas de atravessamento de peões é atrair a atenção dos condutores de veículos motorizados para a presença destes e iluminar tanto os peões que estão a atravessar bem como os que se encontram na berma a aguardar que possa ser feito o atravessamento.

3.2.4 EN 13201-3 – Cálculo dos parâmetros fotométricos

Os métodos de cálculo descritos nesta parte permitem a obtenção das características de qualidade de iluminação mediante procedimentos padronizados, no sentido de obter, a partir de diferentes fontes, uma base uniforme. Nesta secção, são definidas e descritas as convenções e procedimentos matemáticos a ser adotados no cálculo dos parâmetros fotométricos de instalações de iluminação pública, tendo em consideração a norma EN 13201-2 [2].

3.2.5 EN 13201-4 – Métodos de medição das performances fotométricas

Esta parte especifica os procedimentos a ter em consideração para se efetuar medições fotométricas e outras relacionadas, na iluminação pública.

Os procedimentos adotados devem ser levados a cabo apenas com o propósito de medição. Quando as medições são requeridas para intuito de comparação com valores previamente calculados, deve ser tido um maior rigor na medição para assegurar que possa ser feita uma comparação válida. Quando as medições têm o propósito de monitorização do estado da instalação, é possível que o leque de medições a efetuar não seja tão abrangente, e compreenda localizações mais espaçadas. O essencial neste caso é que as medições sejam levadas a cabo da mesma forma que a monitorização. Noutros casos, o controlo in loco é suficiente.

As convenções para posição de observação e locais de medição são os adotados na EN 13201-3. As condições que poderão levar a imprecisões nas medições estão identificadas e as precauções que permitam uma diminuição deste tipo de erro estão previstas e devidamente referenciadas. Está também disponível o formato a adotar aquando da apresentação de resultados [2].

3.2.6 Documento de Referência para a Eficiência Energética na Iluminação Pública

O Documento de Referência para a Iluminação Pública, apesar de não estar incluído no âmbito da legislação aplicável à iluminação pública, constitui uma importante fonte de consulta aquando do estudo das medidas que podem ser tomadas em consideração para o estudo de um projeto de iluminação de iluminação pública, nomeadamente, os requisitos de eficiência energética e os parâmetros relevantes a ter em conta.

O documento foi elaborado no seguimento de uma proposta efetuada pela RNAE (Associação das Agências de Energia e Ambiente), em parceria com o CPI – Centro Português de Iluminação e a Ordem dos Engenheiros à Secretaria de Estado da Energia e da Inovação do Ministério da Economia, da Inovação e do Desenvolvimento (SEEI/MEID).

“O documento tem como objetivo estabelecer, como referência, uma série de parâmetros técnicos que deve seguir um projeto de iluminação pública de modo a obter-se uma maior eficiência energética desta tipologia de instalações e, consequentemente, conduzir a uma diminuição das emissões de CO₂ durante o período de utilização das mesmas. O documento apontará para a classificação energética de uma instalação de iluminação pública com recurso a um código de letras (como acontece já em alguns eletrodomésticos e também nos edifícios, por exemplo) e referenciará o modo e o conteúdo de apresentação de um projeto de iluminação pública eficiente do ponto de vista energético e lumínico” [2].

3.3 Consumo de energia na iluminação pública

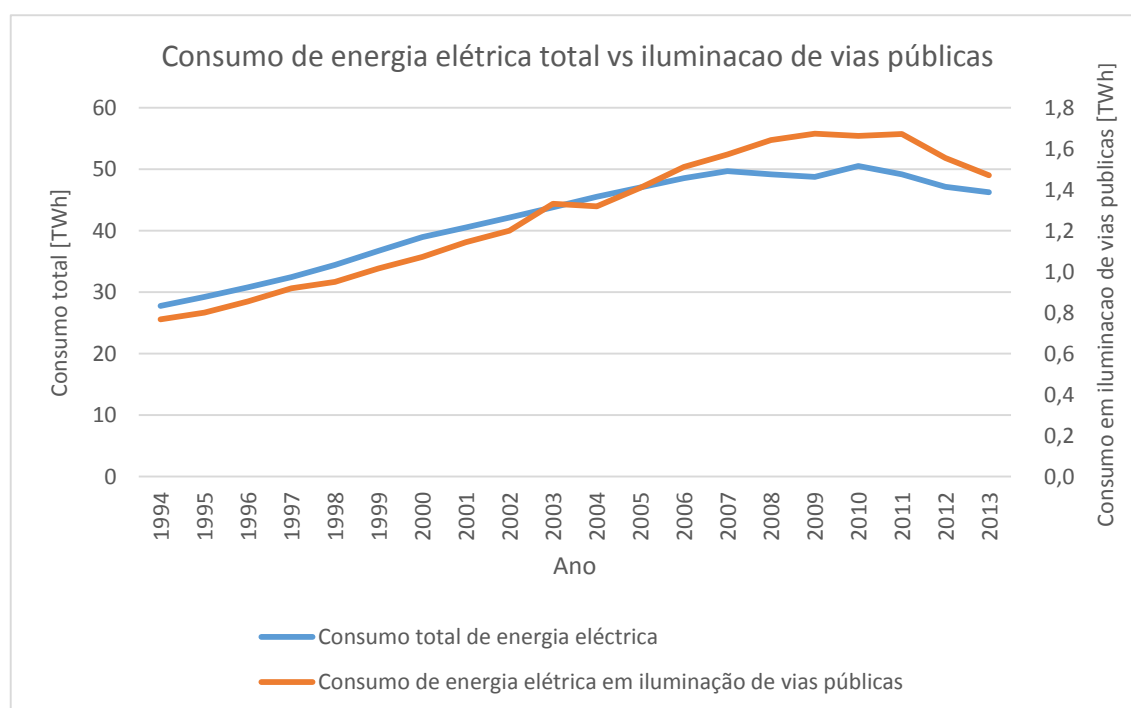


Figura 3.5 - Histórico do consumo total de energia eléctrica vs iluminação de vias públicas [6].

O consumo de energia elétrica esta intimamente relacionado com o aumento de qualidade de vida das populações. Podem-se tirar algumas conclusões deste aumento de consumo, nomeadamente o maior poder de compra e a maior disponibilidade de bens de consumo, como eletrodomésticos ou equipamentos audiovisuais. Pode-se afirmar então que o aumento no consumo de energia em iluminação de vias públicas é diretamente proporcional ao consumo total de energia visto que resulta de uma maior preocupação com a segurança das populações, do aumento das áreas comerciais, de lazer e da melhoria das vias rodoviárias. Na Figura 3.5 apresenta-se um gráfico com o andamento comparativo destes dois consumos. Pode-se observar que em 2005 o consumo total de energia sofre uma estagnação acabando depois por descer ligeiramente até ao ano de 2013. Pelo contrário, a iluminação de vias públicas sofre um aumento a partir desse mesmo ano até ao ano de 2011, existindo depois um decréscimo até 2013.

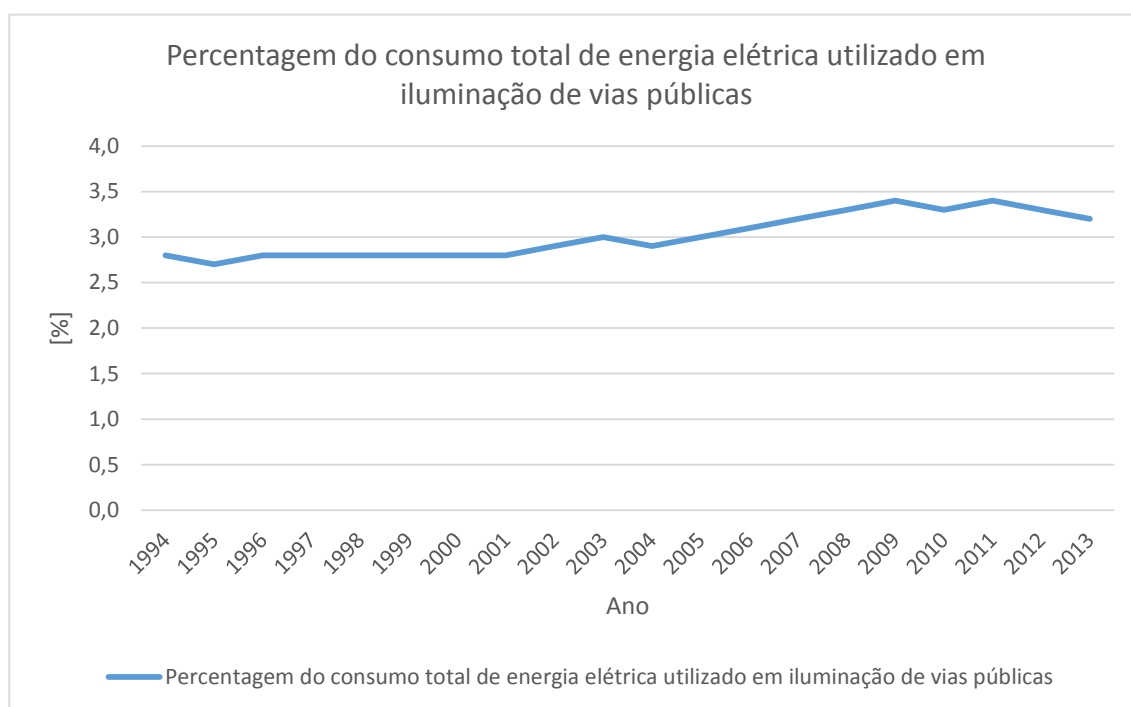


Figura 3.6 - Percentagem do consumo total de energia elétrica utilizado em iluminação de vias públicas [6].

A estas constatações podem aliar-se diversas causas. No caso da diminuição do consumo total de energia elétrica devem identificar-se alguns fatores essenciais: o aparecimento de uma crise financeira e consequente contração económica que leva a um

esforço na redução de gastos, aliando-se também uma crescente consciencialização para a disponibilidade de equipamentos com melhores níveis de eficiência, permitindo manter os níveis de conforto mas obtendo uma redução do consumo com consequências positivas ambiental e financeiramente. O aumento do preço da energia será também um fator essencial na medida em que para manter os custos associados ao consumo de energia passou a ser necessária uma diminuição do seu consumo. A iluminação pública como é visível no gráfico da Figura 3.6 segue a mesma tendência dos outros setores, forçando os municípios juntamente com a EDP a fazer ajustes com vista a reduzir o consumo.

3.4 Classificação da via e níveis mínimos de referência

Para a classificação das instalações haverá dois grupos [8]:

- Iluminação pública funcional
- Iluminação decorativa

3.4.1 Iluminação Pública Funcional

Para estabelecer as condições adequadas de iluminação deverá ser utilizado o método simplificado preconizado na CIE 115:2010, reduzindo o número de parâmetros necessários e obviando às interpretações diversificadas a que a aplicação direta da norma EN13201 poderia conduzir.

Nos pontos seguintes serão enumeradas as classes e as metodologias para a seleção das classes de iluminação, sendo que prevalecerão sempre os documentos EN13201 e CIE115. No final é apresentado o exemplo de seleção diferenciada de classes em diferentes horas do anexo E da CIE115 [8].

3.4.1.1 Zona Fora do Perímetro Urbano

Inclui todas as vias fora do perímetro urbano, incluindo vias de circulação periféricas ao tecido urbano com traçado simples (retas e curvas largas), onde seja possível medir luminâncias [8].

3.4.1.1.1 Classes ME

Para estas vias aplica-se a EN13201, classe ME porque é possível a medição de luminâncias [8]:

Tabela 3.12 – Determinação dos parâmetros para as classes ME [8].

Classe da via		Luminância da superfície da via em condições secas			Deslumbramento Perturbador	Iluminação Envolvente
		Luminância média Lm (cd/m²)	Uniformidade Global U ₀	Uniformidade longitudinal U ₁	Aumento limiar TI (%)	Relação Entorno SR
ME1		2,00	0,40	0,70	10	0,50
ME2		1,50	0,40	0,70	10	0,50
ME3	a	1,00	0,40	0,70	15	0,50
	b			0,60		
ME4	a	0,75	0,40	0,60	15	0,50
	b			0,50		

Para a iluminação pública funcional, os níveis médios calculados não deverão ultrapassar 120% nem serem inferiores a 95% dos níveis de referência da tabela anterior [8]:

- a. É permitido um aumento de 5% no valor do TI quando forem usadas fontes de iluminação com baixa luminância (lâmpadas de vapor de sódio de baixa pressão e fluorescentes tubulares, ou então fontes de luz com luminância idêntica ou inferior).
- b. Significa que este critério apenas poderá ser aplicado em locais onde não existam zonas de tráfego com os seus próprios requisitos adjacentes às faixas de rodagem. É um valor não ótimo (com uma uniformidade longitudinal mais baixa) normalizado.

Em situações onde não seja aconselhável a medição da luminância, será utilizada a conversão de candelas para lux na relação de 1 para 15.

3.4.1.1.2 Determinação da Classe ME

A determinação da classe ME será feita de acordo com a tabela seguinte [8]:

Tabela 3.13 – Seleção das classes de iluminação ME [8].

Seleção das Classes de Iluminação – ME		
Parâmetro	Opções	Fator de peso
Velocidade	Muito Alta	1
	Alta	0,5
	Moderada ou Reduzida	0
Volume de Tráfego	Muito elevado	1
	Alto	0,5
	Moderado	0
	Baixo	-0,5
	Muito baixo	-1
Composição do Trânsito	Elevada percentagem de não motorizados	2
	Misturado	1
	Apenas motorizado	0
Separação de Faixas	Não	1
	Sim	0
Densidade de cruzamentos	Alta	1
	Moderada	0
Veículos estacionados	Presente	1
	Não presente	0
Luminância ambiente	Alta	1
	Moderada	0
	Baixa	-1
Controlo de trânsito	Fraco	0,5
	Moderado ou Bom	0

Para a determinação da classe ME, e de acordo com a CIE115, deve proceder-se do seguinte modo [8]:

- Atribuir, apropriadamente, um fator de peso a cada trâmite especificado (já atribuído na tabela para efeitos de normalização).
- Somar todos esses fatores selecionados, obtendo um valor “Total”.
- Introduzir esse valor na equação: Índice (ME) = 6 – Total, obtendo o índice da classe ME.

De notar que poderá ser necessário arredondar o valor de “Total” para o número inteiro mais baixo, ou mesmo limitar o intervalo de valores possíveis entre zero e seis.

Para determinação das opções para a velocidade deverá ser utilizado, como referência, o seguinte [8]:

- Moderada ou Reduzida: [0 km/h; 70 km/h];
- Alta: [70 km/h; 100 km/h];

- Muito Alta: Superior a 100 km/h.

Para determinação das opções para o volume de tráfego deverão ser utilizados, como referência, os seguintes valores [8]:

- Muito Baixo: inferior a 4.000 veículos por dia;
- Baixo: 4.000 a 15.000 veículos por dia;
- Moderado: 15.000 a 25.000 veículos por dia;
- Alto: 25.000 a 40.000 veículos por dia;
- Muito Alto: Superior a 40.000 veículos por dia.

Para determinação das opções para a Luminância Ambiente, deverá ser utilizado, como referência, o seguinte [8]:

- Baixa: Zonas Rurais, nomeadamente zonas onde a IP seja a única fonte de iluminação;
- Moderada: Zonas com contribuição de iluminação de sinaléticas, spots publicitários e contribuição residencial;
- Alta: Centros Urbanos com grande quantidade de iluminação decorativa, montras e outros sistemas de iluminação de exteriores (e.g. estacionamento).

Caberá ao projetista, em situações especiais (por exemplo determinação do volume de tráfego), realizar a avaliação em alinhamento com o Plano Diretor de Iluminação Pública (PDIP) da responsabilidade da Autarquia [8].

3.4.2 Zonas de conflito

Nas zonas de conflito, que ocorrem quando vias de circulação se intersectam ou desembocam em áreas frequentadas por pedestres, ciclistas ou outros utilizadores, deverá ser utilizada a classe CE [8].

São exemplo de zonas de conflito [8]:

- Cruzamentos.
- Rotundas.
- Estradas de ligação com largura e número de faixas reduzidas.
- Zonas de centros comerciais, etc.

A existência destas áreas resulta, portanto, num aumento da probabilidade de colisão entre os diversos utilizadores da estrada. Logo a iluminação destas zonas deverá revelar em especial a [8]:

- Posição dos passeios e lancis.
- Marcas e sinalizações da estrada.
- Movimentação dos veículos na vizinhança da área.

Presença dos pedestres, outros utilizadores (e.g. ciclistas) e de eventuais obstáculos.

De acordo com a CIE115 estas zonas deverão ter um índice um nível superior às estradas adjacentes, devendo ser utilizada a seguinte tabela [8]:

Tabela 3.14 – Atribuição da classe da área do conflito mediante a classe da estrada adjacente [8].

Classe da estrada adjacente	Classe da área do conflito
ME1	ME1
ME2	ME1
ME3a	ME2
ME4a	ME3a
ME5	ME4a
ME6	ME5

3.4.3 Zonas Pedonais e Áreas com Baixa Velocidade de Tráfego

Os critérios para uma boa qualidade de iluminação nas zonas pedonais, bem como das áreas residenciais, industriais e comerciais, estão indicados no relatório técnico CIE 136 – 2000.

Uma boa qualidade do projeto de iluminação irá permitir aos utilizadores pedestres distinguir e antecipar obstáculos e situações de perigo no seu caminho, pois será possível aperceberem-se da movimentação e fazer o reconhecimento facial de outros pedestres relativamente próximos e intuir as suas intenções.

Nestes casos particulares é importante ter-se em conta não só a iluminância horizontal (E_h), mas também iluminância semi-cilíndrica (E_{sc}) e a iluminância do plano vertical (E_v) [8].

3.4.3.1 Classes P

Tabela 3.15 – Determinação das iluminâncias médias e mínimas para as várias classes P [8].

Classes de Via	Eh,avg (lux)	Eh,min (lux)	Requerimentos adicionais no caso de ser necessário reconhecimento facial		Encandeamento perturbador
			Ev,min (lux)	Esc,min (lux)	
P1	15	3,0	5,0	3,0	20
P2	10	2,0	3,0	2,0	25
P3	7,5	1,5	2,5	1,5	25
P4	5,0	1,0	1,5	1,0	30
P5	3,0	0,6	1,0	0,6	30
P6	2,0	0,4	0,6	0,4	35

Para a iluminação pública funcional, os níveis médios calculados não deverão ultrapassar 120% nem serem inferiores a 95% dos níveis de referência da tabela anterior [8].

3.4.3.2 Determinação da Classe P

Tabela 3.16 – Determinação das classes de iluminação P [8].

Seleção das Classes de Iluminação – P		
Parâmetro	Opções	Fator de peso
Velocidade	Baixa	1
	Muito Baixa (velocidade de caminhada/marcha)	0
Volume de Tráfego	Muito elevado	1
	Alto	0,5
	Moderado	0
	Baixo	-0,5
	Muito baixo	-1
Composição do Trânsito	Pedestres, Ciclistas e Tráfego Motorizado	2
	Pedestres e Tráfego Motorizado	1
	Pedestres e Ciclistas	1
	Pedestres	0
	Ciclistas	0
Veículos estacionados	Presente	0,5
	Não presente	0
Luminância ambiente	Alta	1
	Moderada	0
	Baixa	-1
Reconhecimento Facial	Necessário	Requerimentos adicionais
	Não necessário	Não são necessários requerimentos adicionais

Para a determinação da classe P, e de acordo com a CIE115, deve-se proceder do seguinte modo [8]:

- Atribuir, apropriadamente, um fator de peso a cada trâmite especificado (já atribuído na tabela para efeitos de normalização).
- Somar todos esses fatores selecionados, obtendo um valor “Total”.
- Introduzir esse valor na equação: Índice (ME) = 6 – Total, obtendo o índice da classe P.

De notar que poderá ser necessário arredondar o valor de “Total” para o número inteiro mais baixo, ou mesmo limitar o intervalo de valores possíveis entre zero e seis [8].

Para determinação das opções para a velocidade deverá ser utilizado como referência o seguinte [8]:

- Baixa: Zona em que a composição de tráfego inclua trânsito motorizado;
- Muito Baixa: Zona exclusiva a caminhada ou marcha.

Para determinação das opções para o volume de tráfego, optou-se por considerar apenas a utilização da relação com a composição de tráfego. Assim, deverá ser considerado o seguinte [8]:

- Baixo: Apenas tráfego pedestre ou ciclistas de passagem.
- Moderado: Não existência de tráfego motorizado mas com grande volume de tráfego de ciclistas e peões. Zonas de lazer com recintos desportivas e de recreio também deverão ser considerados nesta opção.
- Alta: Composição de tráfego misto onde a dificuldade de circulação seja considerada difícil;

Para determinação das opções para a Luminância Ambiente, deverão ser utilizadas como referência o seguinte [8]:

- Baixa: Zonas remotas, nomeadamente zonas onde a IP seja a única fonte de iluminação;
- Moderada: Zonas com contribuição de iluminação de sinaléticas, spots publicitários, contribuição residencial;

- Alta: Zonas pedonais em centros urbanos com grande quantidade de iluminação decorativa, montras e outros sistemas de iluminação de exteriores (por exemplo estacionamentos e parques desportivos e de recreio);

Caberá ao projetista, em situações especiais (por exemplo determinação do volume de tráfego), realizar a avaliação em alinhamento com PDIP.

3.4.3.3 Classes G

No caso da Classe P, poderão existir situações em que as distâncias de visualização são pequenas, existem múltiplos locais para o observador e diferentes orientações das luminárias [8].

Nestas situações, poderão ser utilizadas as classes G3 a G6, que determinam a intensidade luminosa máxima por 100lm para diferentes ângulos de elevação [8].

Tabela 3.17 – Intensidades luminosas máximas tendo em conta a temperatura e a classe da via [8].

Classes de Via	Máxima intensidade luminosa em cd.Klm ⁻¹			
	A 70º e acima	A 80º e acima	A 90º e acima	Outros requisitos
G3	---	100	20	---
G4	500	100	10	Intensidade luminosa acima dos 95º deverá ser inferior a 1 cd.Klm ⁻¹
G5	350	100	10	
G6	350	100	<1	Intensidade luminosa acima dos 90º deverá ser inferior a 1 cd.Klm ⁻¹

Nota: Os ângulos especificados são em qualquer direção a partir da vertical para baixo, com a luminária instalada para seu funcionamento.

Para a iluminação pública funcional, os níveis médios calculados não deverão ultrapassar em 20% os de referência nas tabelas anteriores e não serem inferiores a 95% [8].

3.5 Conclusões

Neste capítulo foi possível analisar toda a legislação referente à iluminação pública, que é necessária na execução de um projeto. Analisou-se ainda um pouco dos consumos referentes à iluminação pública, efetuando-se algumas comparações pertinentes para se perceber a evolução da mesma até ao momento. Por fim expôs-se um capítulo do Documento de Referência para a Eficiência Energética na Iluminação Pública que foi necessário à realização deste trabalho.

4. Tecnologias e equipamentos para iluminação pública

4.1 Introdução

A iluminação pública abrange diversas áreas, nomeadamente a iluminação viária e de espaços públicos em geral, contribuindo de forma decisiva para o aumento da segurança. Existem portanto inúmeros aspetos a ter em consideração num projeto de iluminação pública. Neste capítulo vão ser abordadas as tecnologias que são utilizadas na iluminação pública em termos de lâmpadas, equipamentos acessórios como por exemplo os balastros, os tipos de postes existentes e por fim os sistemas de controlo que regulam a operação do sistema de iluminação em resposta a um sinal externo. Estes sistemas automáticos permitem otimizar a utilização das instalações de iluminação pública, resultando normalmente em economias de energia significativas, sem prejuízo dos níveis de conforto e segurança visual necessários em cada local e/ou atividade.

4.2 Tecnologias utilizadas em sistemas de iluminação pública

4.2.1 Características das lâmpadas

Os tipos de lâmpadas usados atualmente são numerosos e podem ser usados para diversos tipos de aplicação. No entanto cada tipo de lâmpadas possui características

diferentes que devem ser tidas em conta para a sua escolha. As principais características luminotécnicas de uma lâmpada são:

- ✓ Rendimento luminoso;
- ✓ Temperatura de cor;
- ✓ Índice de restituição de cor;
- ✓ Luminância;
- ✓ Duração de vida média.

4.2.1.1 Rendimento luminoso

Rendimento luminoso ou eficiência luminosa (η) de uma fonte é a relação entre o fluxo luminoso total emitido pela fonte (ϕ) e a potência por ela absorvida (P). A unidade SI é o lm/W (lúmen por Watt) [8].

4.2.1.2 Temperatura da cor

A temperatura de cor de uma fonte luminosa é a temperatura a que um corpo negro irradiaria a mesma cor dessa fonte luminosa. A temperatura da cor é normalmente indicada em Kelvin (K).

Existe também o conceito de temperatura de cor correlacionada, que se aplica a fontes luminosas cujo processo de emissão de luz não está associado ao aumento de temperatura de um corpo. A temperatura de cor correlacionada compara a percepção da cor da luz da fonte luminosa com a irradiada por um corpo negro radiante a uma determinada temperatura [10].

As cores frias, com tons mais azulados, estão associadas a temperaturas de cor mais elevadas, enquanto que as cores quentes, com tons mais laranja e avermelhados, estão associadas a temperaturas de cor mais baixas. Geralmente encontram-se três gamas de cor na iluminação pública como é possível observar na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Temperatura versus aparência [8].

Temperatura	Aparência	
$T < 3300$	Quente (branco alaranjado)	
$3300 < T < 5000$	Intermédio (branco)	
$T > 5000$	Fria (branco azulado)	

4.2.1.3 Índice de restituição de cor (IRC)

A restituição de cor e a capacidade de restituição cromática de um objeto iluminado por efeito da radiação emitida por uma fonte de luz. O índice de restituição cromática (IRC) representa a capacidade que uma fonte luminosa tem de restituir fielmente as cores de um objeto ou superfície iluminada, comparativamente a uma fonte de referência: luz do dia. Este índice varia de 0% a 100%, representando, respetivamente, nenhuma ou total fidelidade de reprodução. O índice de restituição de cor não está relacionado com a temperatura de cor de uma fonte luminosa visto que a temperatura de cor apenas é referente a cor da fonte e não a sua composição espectral. Desta forma, fontes luminosas que apresentem a mesma temperatura de cor podem apresentar IRC completamente díspares [10].

4.2.2 Tipos de Lâmpadas

Tecnologias Antigas: Tratam-se de tecnologias ultrapassadas quer pela sua baixa eficiência quer também pelas fracas prestações luminotécnicas e mesmo pelos problemas ambientais associados ao malefício do mercúrio de algumas destas tecnologias. Apesar destas tecnologias já estarem a ser eliminadas progressivamente da IP em Portugal, verifica-se que a tecnologia de vapor de mercúrio ainda permanece em quantidade significativa nas luminárias existentes [10].

- **Incandescentes:** funcionam com base no fenómeno de incandescência, emitindo luz devido a elevada temperatura de um corpo (filamento). Cerca de 90 a 95% da energia consumida por este tipo de lâmpadas é perdida sob a forma de calor, fazendo com que sejam extremamente ineficientes. A baixa eficiência pode ainda associar-se a um tempo médio de vida útil bastante baixo (na ordem das 1000h), fazendo desta tecnologia uma péssima opção económica e energética. Esta tecnologia apresenta, no entanto, uma baixo custo inicial e um excelente IRC (na ordem dos 100%) [10] [12] [13].
- **Vapor de Mercúrio:** o princípio de funcionamento desta tecnologia é a descarga entre dois elétrodos imersos numa atmosfera de argon com uma pequena quantidade de mercúrio. Para além dos dois elétrodos principais, entre os quais se realiza a descarga, existe ainda um terceiro elétrodo - chamado auxiliar ou de arranque – cuja função é ionizar o gás

árgon para que a descarga se inicie. Desta forma deixa de ser necessário um pico de ignição, ao contrário do que acontece, por exemplo, nas lâmpadas fluorescentes. Durante o funcionamento é necessária, no entanto, a utilização de um balastro para limitar a corrente, devido à baixa impedância que apresenta após o arranque [10] [12] [13].

Tecnologias do Presente: Trata-se de um conjunto de tecnologias que apresenta melhorias significativas ao nível do desempenho energético, proporcionando níveis de eficiência muito mais elevados. Também ao nível ambiental a utilização destas tecnologias representa uma mais-valia, nomeadamente com a não utilização de mercúrio [10].

Compactas Fluorescentes (CFL): Trata-se de uma tecnologia com elevada eficiência e durabilidade. As CFL (*Compact Fluorescent Lamps*) apresentam-se como a tecnologia de eleição para a substituição das lâmpadas incandescentes, atualmente em *phase-out*, devido a fatores de forma muito semelhantes. Nesta substituição direta, o custo inicial ligeiramente mais elevado é largamente compensado pela muito maior eficiência (consome apenas cerca de 20% da energia). Apesar de inicialmente ser uma tecnologia mais vocacionada para utilização contínua e com IRC baixos, esta tecnologia tem vindo a ser melhorada, apresentando melhores valores de IRC e também melhor adequação a utilizações mais irregulares. Sem desprezar as grandes vantagens desta tecnologia, as CFL são uma boa escolha quando se quer uma elevada eficiência, baixo custo e um valor baixo de lumens à saída, sendo por isso aplicadas em locais onde níveis modestos de luminosidade são aceitáveis. Neste contexto compreende-se que a taxa de utilização deste tipo de lâmpadas no mercado da iluminação pública é baixa, sendo quase exclusivamente utilizadas nos globos dos parques e jardins (espaços verdes públicos) ou em zonas para efeitos decorativos. Nas CFL podem distinguir-se duas tipologias [10] [12] [13]:

- **Integradas:** Neste caso a lâmpada e o balastro são uma peça única, estando o balastro na base da lâmpada. Apresenta-se como o substituo ideal para lâmpadas incandescentes visto que dispõe de casquilhos de rosca do tipo (Edison) E14 e E27, substituindo-se assim facilmente, sem qualquer intervenção adicional na quase totalidade dos casos. O seu preço foi reduzido drasticamente nos últimos anos, tornando a sua utilização bastante rentável, ainda que mais virada para a iluminação de interiores [10] [12] [13].

- **Modulares:** Neste caso o balastro e a lâmpada são dois objetos separados, podendo ser substituídos em ocasiões separadas. Em termos de manutenção apresenta mais vantagens visto que é possível substituir a lâmpada sem substituir o balastro, que apresenta durabilidades cinco a seis vezes superiores [10] [12] [13].

Vapor de Sódio

- **Alta Pressão (VSAP):** Trata-se de uma lâmpada de descarga de alta intensidade cuja criação teve como objetivo o desenvolvimento de uma lâmpada de elevado rendimento. Desta forma, trata-se de uma lâmpada com eficiência e tempo de vida útil elevados. No interior possui uma mistura de sódio e mercúrio que é vaporizada para potenciar um arco entre os elétrodo. A temperatura e, conseqüentemente, a pressão do vapor serão tanto maiores quanto maior for a potência da lâmpada. A resistência elétrica da lâmpada é inversamente proporcional a estes valores, diminuindo com o aumento da pressão. Existe, no entanto, um fenómeno de degradação que provoca um aumento de potência devido ao aumento de tensão no arco entre os elétrodo. Este fenómeno que faz com que lâmpadas com mais tempo de utilização, tipicamente na segunda metade do seu tempo de vida, tenham dificuldades em arrancar com tensões reduzidas. As lâmpadas de VSAP estão disponíveis numa grande variedade de formatos e, embora tendo níveis de eficiência menores (cerca de 50 lm/W) que as lâmpadas de vapor de sódio de baixa pressão (VSBP), estão ainda num patamar bastante elevado relativamente a todos os restantes tipos. As lâmpadas de VSAP apresentam também maior durabilidade e IRC [10] [12] [13].
- **Baixa Pressão (VSBP):** Esta tecnologia apresenta os melhores níveis de eficiência existentes, permitindo obter excelentes rendimentos nas instalações. Estas lâmpadas têm no seu interior uma atmosfera de sódio, néon e árgon, tendo como princípio de funcionamento a descarga num tubo de vidro especial em forma de U. Apesar dos excelentes níveis de eficiência, sendo a fonte de luz artificial de maior rendimento, chegando a apresentar uma eficiência luminosa superior a 180 lumens/Watt tem um espectro altamente reduzido, praticamente monocromático na região

dos amarelos, fazendo com que tenha o pior IRC de todas as fontes luminosas e também apresenta um dos tempos de vida útil mais baixo [10] [12] [13].

Iodetos Metálicos: Esta tecnologia, lâmpada de mercúrio com iodetos metálicos, desponta como um aperfeiçoamento à tecnologia de vapor de mercúrio diferindo pela presença de iodetos metálicos e desempenho muito mais elevado ao nível de IRC e eficiência, sendo 4 a 5 vezes melhor. Para efetuar o arranque desta lâmpada é necessário um arrancador adequado que gere um pico de tensão muito elevado (na ordem dos 5000 V). No entanto existem versões que dispõem de um elétrodo auxiliar (como nas lâmpadas de mercúrio) ou um arrancador interno, tipo *starter* (como nas lâmpadas fluorescentes). Tal como as lâmpadas de vapor de sódio, esta lâmpada encontra-se disponível numa grande variedade de formatos. Comparativamente às VSAP oferecem as mesmas vantagens, mas têm características diferentes. Possuem uma maior gama de potências e uma cor mais branca e fria. São utilizadas quando é necessário uma boa eficiência e um bom IRC. Porém a aparência de cor é prejudicada pela idade e têm menor vida útil e rendimento [10] [12] [13].

Tecnologias Emergentes:

Lâmpadas de indução: Uma inovação recente da indústria da iluminação foi a chamada lâmpada fluorescente de indução, cujo princípio de funcionamento baseia-se na excitação do mercúrio e dos gases nobres que se encontram no seu interior, através da aplicação de um campo magnético oscilante de altíssima frequência que irão produzir radiação ultravioleta que é convertida em luz visível usando revestimentos com sais apropriados, tal como acontece nas lâmpadas fluorescentes. A lâmpada fluorescente de indução, não tem elétrodos internos, sendo constituída ou por uma ampola com mercúrio com uma bobina, que excita o mercúrio, ou simplesmente por um tubo fechado com duas bobinas enroladas nas extremidades da lâmpada. As lâmpadas de indução possuem uma boa eficiência energética e um IRC relativamente elevado. A sua principal vantagem é sem dúvida a duração, pois é muito elevada. Assim, em locais onde a manutenção frequente seja inoportuna, por ser mais cara e perigosa (por exemplo em postes de iluminação de difícil acesso ou junto a linhas de AT e MAT), estas lâmpadas podem ser uma boa solução. Adicionalmente, o seu fluxo luminoso é muito pouco dependente da temperatura. Tem a

desvantagem de, atualmente, ainda não ser possível efetuar o *dimming* desta lâmpada e apenas funcionar com balastros eletrônicos especiais de muito alta frequência [10] [12] [13].

LED: O díodo emissor de luz (LED – *Light emitting diode*) transforma a energia elétrica em luz num cristal de semicondutor. Tal transformação é diferente da encontrada em lâmpadas convencionais (incandescentes, descarga e indução), pois nos LEDs a transformação de energia elétrica em luz é efetuada dentro da matéria sólida, daí que também seja denominada de iluminação em estado sólido (SSL – *Solid State Lighting*). Com o desenvolvimento de novas tecnologias de fabrico e aparecimento de novos materiais, os LEDs têm vindo a ser produzidos com custos cada vez menores, proporcionando uma gama cada vez maior de aplicações, como sinalização e iluminação de ambientes em geral. Já entraram no mercado de iluminação de interiores para substituir as lâmpadas incandescentes e de descarga, estando agora a dar os primeiros passos em aplicações no domínio da iluminação pública. Pelas suas características, os LEDs têm adquirido uma grande preferência por parte dos arquitetos e *lighting designers*, que assim passaram a dispor de um novo recurso capaz de proporcionar conceções de iluminação mais eficientes, funcionais e artísticas. O LED é constituído por um díodo de semicondutor chamado *chip*, que é encapsulado em material plástico, cerâmico ou resina. Esta cápsula poderá ter formas e tamanhos variados, consoante os quais são estabelecidas as características óticas do LED. A diminuição do fluxo luminoso com o aumento de temperatura é mais ou menos acentuada, consoante a cor do LED. Por exemplo, como o LED de cor amarela é mais sensível do que o LED verde, o seu fluxo luminoso ao longo do tempo e a sua vida média irão ser menores. A eficiência dos LEDs tem aumentado consideravelmente durante os últimos anos, graças aos avanços tecnológicos. Os LEDs, devido ao seu fluxo direcionado, conseguem atingir poupanças de energia entre 50 a 70% quando comparados com as lâmpadas convencionais de mercúrio e vapor de sódio. Adicionalmente, não requerem um tempo de espera para atingir o nível de fluxo luminoso máximo. Possuem ainda outras vantagens tais como: direccionalidade, menor fragilidade e suscetibilidade a atos de vandalismo, tempo de vida útil bastante superior, melhor efeito visual com disponibilidade de uma grande variedade de cores, não necessita de tempo de aquecimento, mais adequado para *dimming* permitindo reduções muito superiores às das lâmpadas convencionais [10] [12] [13].

Tabela 4.2- Tabela comparativa entre os vários tipos de tecnologia [10].

Lâmpada	Potência [W]	Temperatura de cor [K]	IRC [%]	Eficiência [lm/W]	Tempo de vida útil [h]
Incandescentes	15 – 1000	2700	100	10 – 20	1000
Halogéneo	20 – 2000	3000	100	25	2000 – 4000
Vapor de mercúrio	50 – 1000	3000 – 5000	40 – 60	20 – 50	16000
CFL integradas	3 – 25	2700 – 4000	85	35 – 70	6000 – 15000
CFL modulares	5 – 55	2700 – 6000	85 – 98	45 – 87	10000
VSAP	50 – 1000	2000 – 3300	20 – 40	70 – 140	16000 – 32000
VSBP	50 – 1000	1800 – 2200	10 – 20	120 – 180	16000
Iodetos metálicos	35 – 3500	3300 – 5500	80 – 90	65 – 110	12000 – 16000
LED	100 – 150	2700 – 4000	85	75	100000
Indução	1 – 8	2700 – 10000	65 – 85	50 – 130	30000 – 100000

4.3 Equipamentos acessórios

4.3.1 Balastros e fontes de alimentação

As lâmpadas de descarga (fluorescentes, vapor de sódio, iodetos metálicos, etc.) e as lâmpadas de estado sólido (LEDs) não podem ser ligadas diretamente à rede, tendo por vezes um sistema auxiliar de arranque. As lâmpadas de descarga possuem impedância negativa, ou seja, tendem a absorver mais corrente do que aquela que é necessária ao seu funcionamento. Sem um balastro em série com esta impedância negativa, a lâmpada autodestruir-se-ia rapidamente. É por isso necessário que haja um equipamento de controlo associado convencionalmente constituído por [10]:

- Arrancador (ou ignitor).
- Condensador.
- Balastro (convencionalmente uma reactância ou fonte eletrónica de alta frequência).

Frequentemente, este conjunto de equipamentos é simplesmente conhecido como balastro. No caso dos LEDs o equipamento de controle é uma fonte de alimentação controlável denominada driver.

O balastro é então um equipamento que se insere entre a rede de alimentação e uma ou mais lâmpadas de descarga. Consoante a sua constituição, pode ser magnético ou eletrónico. Principais funções [10]:

- Assegurar o arranque da lâmpada.
- Limitar a corrente para valores exigidos a um funcionamento adequado.

Dependendo das suas características, o balastro poderá igualmente [10]:

- Transformar a tensão de alimentação
- Fazer o *dimming* da lâmpada
- Corrigir o fator de potência
- Melhorar o arranque a frio da lâmpada.

4.3.2 Balastros eletromagnéticos (ferromagnéticos)

Os balastros eletromagnéticos ou simplesmente magnéticos são constituídos, principalmente, por um grande número de espiras de cobre sobre um núcleo ferromagnético laminado. As perdas de Joule que ocorrem no cobre e as perdas de histerese no núcleo ferromagnético proporcionam uma redução entre 5% a 25% da potência de entrada da lâmpada. Este valor irá depender das dimensões e construção dos circuitos elétrico e magnético do balastro [10].

Podem ser considerados três tipos de balastros magnéticos [10]:

- **Balastros de perdas elevadas:** Classificados com a classe D de eficiência energética, são fabricados com materiais de baixa qualidade. Apesar de serem baratos têm uma performance energética deficiente (perdas elevadas), pelo que eventualmente serão retirados do mercado.

- **Balastros convencionais:** Classificados com a classe C de eficiência energética, são fabricados com material de melhor qualidade comparado com os de perdas elevadas, conseguindo assim um melhor rendimento. Em contrapartida têm um custo mais elevado.
- **Balastros de perdas reduzidas:** Estes balastros são também conhecidos por balastros híbridos. São classificados nas classes B1 (perdas muito reduzidas) e B2. Têm perdas inferiores às dos balastros convencionais, mas são mais volumosos e muito mais caros, devido à maior quantidade de cobre e maior volume do circuito magnético. Nas novas instalações podem ser uma opção mas, em luminárias já existentes, a sua dimensão pode ser um forte entrave à sua colocação.

Os balastros eletromagnéticos mais comuns que podem ser encontrados são:

- Balastro indutivo.
- Balastro autotransformador.
- Balastro autoregulador.

Vantagens e desvantagens:

Em termos gerais podemos atribuir as seguintes vantagens aos balastros eletromagnéticos:

- Custo bastante reduzido.
- Simplicidade e robustez.

As desvantagens dos balastros eletromagnéticos são:

- Grandes dimensões e peso.
- Eficiência média-baixa devido às perdas eletromagnéticas.
- Baixa fiabilidade na ignição. Se o pico de tensão não ocorrer no ponto ótimo, a lâmpada de descarga (nomeadamente fluorescente) poderá não arrancar.

- Dificuldade de regulação do fluxo luminoso, só podendo ser efetuada através de balastros de duplo nível.
- Fator de potência reduzido. Há a necessidade de recorrer a condensadores para compensá-lo. No caso de avaria deste não há indicação, pelo que é difícil detetar a avaria.
- Risco de ocorrência de sobreintensidades devido ao efeito de saturação do balastro.
- Uma variação de $\pm 10\%$ na tensão da linha causa uma variação de $\pm 20\%$ da potência da lâmpada.
- Flicker e efeito estroboscópico, uma vez que a alimentação se efetua a baixa frequência (50 Hz). Quando se visionam objetos em movimento nestas condições, parecem mover-se devagar, dando mesmo a sensação de pararem por pequenos instantes.

Tal como outros dispositivos elétricos, o balastro gera calor devido à resistência óhmica e às perdas magnéticas. Cada balastro tem um valor máximo de temperatura que não pode ser excedido. Normalmente este valor encontra-se inscrito no balastro. Por exemplo, um valor 10°C acima do recomendado pode diminuir o seu tempo de vida útil em 50% [10].

4.3.3 Balastros eletrónicos

Os balastros eletrónicos apareceram no início dos anos 80 e são conversores de eletrónica de potência utilizados no controlo das lâmpadas de descarga, permitindo reduzir substancialmente as perdas em comparação com os balastros eletromagnéticos. A era moderna dos balastros eletrónicos (início dos anos 90) começou com a introdução dos transístores bipolares de potência que permitiam fazer a alimentação das lâmpadas a altas frequências, na ordem das dezenas de kHz. Posteriormente, os balastros eletrónicos tornaram-se mais populares com a introdução dos MOSFETs em detrimento dos transístores bipolares. As melhorias na performance e o custo cada vez maior da energia resultaram num aumento da utilização deste tipo de balastro [10] [20].

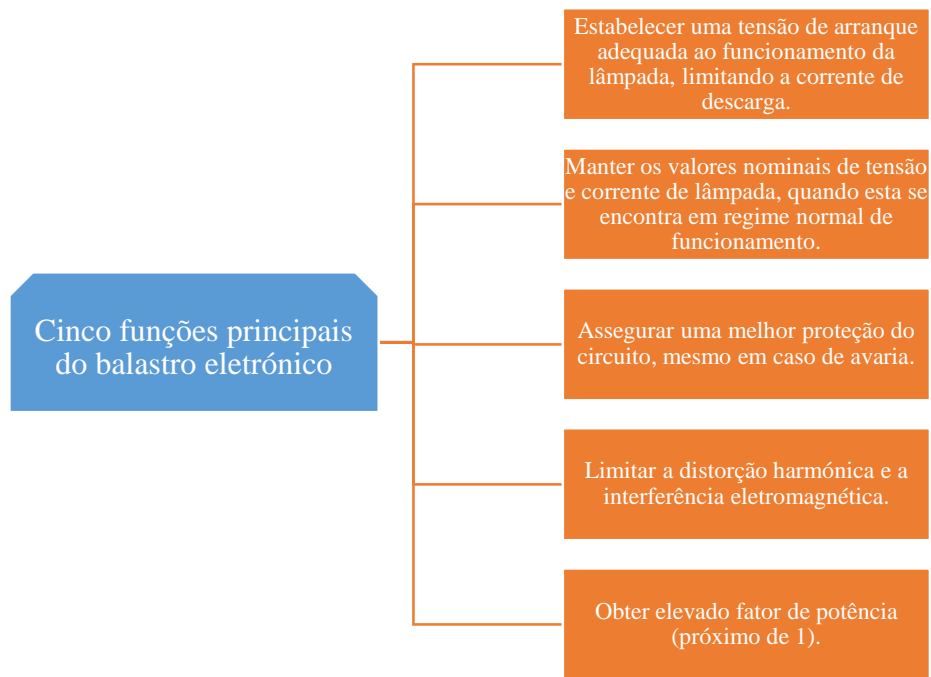


Figura 4.1 – Esquematização das principais funções do balastro eletrônico [10] [20].

No organograma seguinte pode-se observar a divisão para os balastros eletrônicos:

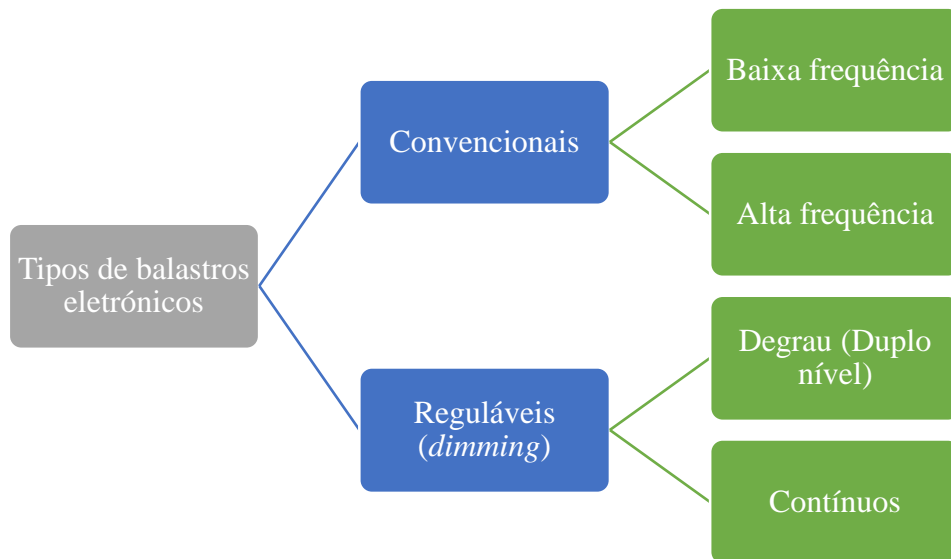


Figura 4.2 – Esquematização dos tipos de balastros eletrônicos [10] [20].

Vantagens e desvantagens

Os balastros eletrônicos têm as seguintes vantagens [10] [20]:

- Menor potência de perdas, logo maior rendimento total do circuito. Os balastros eletrônicos têm perdas inferiores ou equivalentes aos eletromagnéticos mais eficientes proporcionando uma poupança de energia entre 20 a 30%. Adicionalmente, aumentam a eficiência energética das lâmpadas em cerca de 10%.
- Elevado fator de potência ($\geq 0,9$).
- Estabilidade da potência na lâmpada perante variações da tensão na rede. Inclusive, permitem um melhor controle da potência com possibilidade de regulação do fluxo através do controlador de corrente.
- Sistemas de proteção incluídos, sendo que o balastro desliga automaticamente as lâmpadas em caso de anomalia, ligando-a após a sua correção.
- Pode ser incorporado um *delay* no reacendimento a quente da lâmpada. Isto pode ser importante após uma queda de tensão que tenha desligado a lâmpada, visto que uma lâmpada quente não poderá ser reacendida com a tensão normal de ignição. O que acontece é que um ignitor com um balastro eletromagnético continua a gerar pulsos de tensão elevados, para tentar ligar a lâmpada durante a sua fase de arrefecimento, o que é prejudicial para o tempo de vida quer da lâmpada quer do balastro. Um atraso no reacendimento da lâmpada previne este dano.
- Dimensões e peso reduzidos. Os balastros eletrônicos são mais pequenos do que os magnéticos, principalmente para lâmpadas de grande potência. Adicionalmente têm menos componentes, uma vez que, já não são necessários arrancadores nem condensadores.
- Estabilidade de cor e do fluxo luminoso com redução do efeito estroboscópico. Como o balastro eletrónico opera a elevadas frequências consegue-se eliminar este efeito, pois a lâmpada cintila a mais de 40 000 vezes por segundo (invisível para o olho humano) em vez de 100 vezes. Este fenómeno é conhecido por causar dores de cabeça e desconforto, o que poderá levar à ocorrência de acidentes.

- Funcionamento silencioso. Não produzem ruído, pois a sua frequência é superior à faixa de audição humana. Assim, o balastro eletrônico assegura uma ignição e operação da lâmpada silenciosas, eliminando igualmente o zumbido de fundo, típico dos balastros magnéticos.
- Maior vida da lâmpada, pois proporcionam-lhes arranques suaves. Desta forma consegue-se reduzir os custos de manutenção da lâmpada. Além disso, alguns balastros eletrônicos contêm uma opção de monitorização do estado da lâmpada (e.g. envelhecimento) e do próprio balastro que reduz o custo de manutenção da rede de IP.
- Capacidade de regulação de fluxo.
- Podem operar mais de quatro lâmpadas simultaneamente, enquanto os eletromagnéticos operam um máximo de duas.

Contudo, este tipo de balastros apresenta as seguintes desvantagens [10] [20]:

- Preço mais elevado.
- Possíveis interferências elétricas (RFI e EMI), problema já resolvido nos equipamentos de melhor qualidade.
- Maior poluição das redes dos distribuidores de energia por operarem a uma frequência igual ou superior a 20 kHz. Esta frequência situa-se na banda CENELEC A (EN050065-1).
- Impossibilidade de instalação de reguladores de fluxo de cabeceira.
- Impactos nos processos de manutenção nomeadamente em vistorias do correto funcionamento de sistemas de IP. Este constrangimento é devido à impossibilidade de forçar o balastro a funcionar no seu patamar de máxima poupança.¹⁰
- Os balastros eletrônicos que realizam *dimming* numa configuração *stand-alone* (não integrados num sistema central de gestão de Iluminação Pública) têm problemas de sincronismos horários. Logo, será necessário garantir a sincronização horária da

regulação e do possível ligar e desligar das luminárias, durante todo o período de vida dos balastros.

- O não sincronismo dos balastros poderá provocar desalinhamento nas instruções *on-off* e no *timing* de regulação do fluxo.

4.4 Postes de iluminação

4.4.1 Postes ou Colunas de Iluminação

Os postes para iluminação pública são geralmente em aço, liga de alumínio ou em betão. É certamente o tipo de suporte de luminária mais utilizado nas redes de iluminação pública e deve ter as seguintes características [10]:

- Boa resistência aos esforços resultantes da ação do vento e aos choques mecânicos
- Boa resistência à intempérie e à corrosão
- Manutenção fácil e barata
- Espaço suficiente para a colocação e para o acesso fácil da aparelhagem de proteção.

Na Figura 4.3 pode-se observar os vários tipos de postes de iluminação existentes nas redes de IP.



Figura 4.3 - Vários tipos de postes de iluminação existentes nas redes de IP [10].

Na Tabela 4.3 pode-se observar as vantagens e desvantagens dos vários tipos de postes de iluminação.

Tabela 4.3 – Tipos de postes de iluminação [10].

Postes em aço	
Vantagens	Desvantagens
Boa resistência aos choques mecânicos	Preço elevado
Boa resistência à corrosão (se tratados convenientemente)	Alguns cuidados de manutenção
Postes em alumínio	
Vantagens	Desvantagens
Não necessitam de proteção contra a corrosão	Preço muito elevado
Não necessitam de cuidados de manutenção	
Muito mais leves, o que implica um manuseamento muito mais fácil	
Postes em betão	
Vantagens	Desvantagens
Robustos e resistentes (uso aconselhável em locais próximos do mar ou com atmosfera agressiva)	Aspeto pesado e pouco estético
Não necessitam de cuidados de manutenção (longa duração)	Maior impacto em caso de queda
Mais económicos	

4.4.2 Cabos de suspensão

Este tipo de suspensão realiza uma disposição axial das armaduras. É utilizado apenas em certos casos especiais, como por exemplo em vias muito estreitas, uma vez que tem as seguintes desvantagens [10]:

- Inestético.
- Manutenção difícil.
- Expõe as armaduras à ação do vento, facto este que pode ocasionar movimentos indesejáveis.

Na Figura 4.4 pode-se observar um cabo de suspensão numa rede de iluminação pública.



Figura 4.4 - Exemplo de um cabo de suspensão numa rede de iluminação pública [10].

4.4.3 Braços em fachadas de edifícios

Os postes e a sua colocação são caros e podem até perturbar a circulação dos peões nos passeios. Assim, convém analisar o compromisso técnico/estético, em locais onde existam condições para aplicar braços de iluminação nas fachadas, de modo a escolher a solução ideal. Os requisitos que se devem ter em conta na opção de instalação de braços em fachadas de edifícios são [10]:

- Ausência de árvores de grande porte.

- Presença ao longo das vias de edifícios suficientemente altos e de construção robusta.
- A largura de fachada a fachada a iluminar, não deve ultrapassar os 20 metros.
- Os braços de iluminação, sendo metálicos, devem ser convenientemente protegidos contra a corrosão.

Na Figura 4.5 pode-se observar um braço de iluminação numa fachada de um edifício.



Figura 4.5 - Exemplo de um braço numa fachada de edifício [10].

4.5 Sistemas de Controlo e de Gestão de Energia

Os sistemas de controlo são dispositivos que regulam a operação do sistema de iluminação em resposta a um sinal externo. Estes sistemas automáticos permitem otimizar a utilização das instalações de iluminação pública, resultando normalmente em economias de energia significativas, sem prejuízo dos níveis de conforto e segurança visual necessários em cada local e/ou atividade [10].

Existem dois tipos de controlo: “Tudo ou nada”, associados aos seguintes sistemas de comando:

- Sensores crepusculares.
- Relógios astronómicos.

Reguláveis, aqui são considerados:

- Reguladores de fluxo.
- Sistemas de telegestão.

4.5.1 Sensores crepusculares

Nos sistemas de iluminação pública é importante saber em que altura o nível de iluminação está suficientemente escuro, para ativar as luzes. Por vezes quando as condições climáticas não são as ideais pode ser necessário ativar o sistema de iluminação por razões de segurança. Além disso o horário do próprio nascer e pôr-do-sol não é constante, muda todos os dias. Tendo em conta as razões apontadas, a solução que reúne maior consenso é aquela que utiliza sensores de luz ambiente também conhecidos como crepusculares [10].

A célula fotoelétrica existente no interruptor crepuscular irá reagir à mudança de luminosidade, ligando ou desligando a iluminação conforme o nível estipulado, permitindo, desta forma, gerir racionalmente o funcionamento dos circuitos de iluminação pública. A colocação da fotocélula poderá ser à cabeceira enviando o sinal a um conjunto de luminárias, ou então poderá ser parte integrante de cada ponto de iluminação individual [10].

A utilização da fotocélula à cabeceira dos circuitos poderá trazer inconvenientes, particularmente quando uma determinada rua tem diferentes circuitos de iluminação controlados por diferentes fotocélulas. Esta situação poderá causar que o ligar e desligar dos circuitos não se efetue em sincronismo. O mesmo se poderá passar quando temos uma fotocélula por luminária. Existe, ainda, a solução de utilizar um sistema misto: utilização de sistemas à cabeceira para ligar e desligar, e fotocélulas individuais nas luminárias para regular o fluxo de cada luminária de acordo com as condições de iluminação ambiente. No entanto os sistemas individuais de controlo de iluminação por luminária produzem efeitos negativos nos processos de manutenção, apenas colmatados com sistemas avançados de telegestão [10].

4.5.2 Relógio astronómico

O relógio astronómico é uma solução de comando *on-off* cujo horário de funcionamento encontra-se enquadrado na variação do ciclo solar ao longo do ano.

Os relógios astronómicos são programadores eletrónico-digítals utilizados para o controlo automático de ligações e cortes de iluminação pública em função do pôr e do nascer do sol, respetivamente.

A grande vantagem em relação a um sistema interruptor horário antigo é que adapta o controlo da rede de IP ao horário respeitante à altura do ano. Ou seja, ao passo que no sistema antigo, caso não se fizesse um ajustamento manual do relógio, a iluminação pública ligava e desligava sempre à mesma hora programada, o que acontece com o relógio astronómico é que a ação *on-off* será determinada pelas suas coordenadas geográficas. Com a utilização do relógio astronómico haverá por exemplo uma distinção no que toca às estações do ano, sendo que o sinal transmitido para acender a iluminação pública será emitido mais cedo no Inverno do que no Verão sem qualquer tipo de intervenção humana [10].

O relógio astronómico tem as seguintes características de funcionamento [10]:

- Cálculo diário, para as ações ligar / desligar, considerando a latitude e longitude, em graus e minutos, do local onde se encontra.
- Válido para qualquer região geográfica de qualquer hemisfério tendo apenas que o programar previamente.
- Alteração automática do horário de inverno e verão.
- Possibilidade de outro tipo de programação que não a programação astronómica (*default*).
- Possibilidade de inclusão no ciclo de funcionamento astronómico de uma programação diferente para dias festivos e feriados.

Tal como os sensores crepusculares, o relógio astronómico poderá funcionar como sistema de controlo da rede de IP isolado, ou então poderá ser um equipamento auxiliar aos reguladores de fluxo e/ou sistemas de telegestão, tendo como função transmitir o sinal de ligação e corte das lâmpadas do sistema de iluminação [10].

4.5.3 Reguladores de Fluxo a instalar à cabeceira do sistema de IP

Os sistemas de regulação de fluxo luminoso permitem a regulação da intensidade luminosa em períodos de menor atividade. Em períodos noturnos de menor tráfego, estes sistemas permitem diminuir o nível de luminância, não limitando a abrangência dos dispositivos luminosos.

Um regulador de fluxo pode estar integrado num sistema de telegestão complexo, estando às ordens do Sistema Central de Gestão (CSM), ou então inicia o seu ciclo de

ignição após um sinal transmitido por um sensor de luminosidade, ou por um relógio astronómico (tecnologia mais atual e eficiente), aumentando gradualmente a tensão até atingir o valor pré-estabelecido de funcionamento. Quando esse nível de tensão não é mais necessário, o regulador baixa a tensão de alimentação das lâmpadas (Figura 4.6). As transições entre as várias condições de operação devem ser lentas, para que a alteração do nível de iluminação se torne impercetível ao utilizador [10].



Figura 4.6 - Exemplo de funcionamento de um Regulador de Fluxo Luminoso ao longo do período noturno [10].

Aplicando às lâmpadas uma tensão inferior (verde) à nominal de funcionamento (vermelha), a corrente é reduzida, originando a diminuição da potência absorvida pela rede de IP. A programação da regulação do fluxo deverá ser feita consoante a época do ano e a área onde o sistema de iluminação está instalado [10].

De maneira a funcionar corretamente e a manter as suas características ao longo do tempo, as fontes luminosas devem ser alimentadas com uma tensão que não exceda em 5% o seu valor nominal. Os reguladores de fluxo, para além de variarem a intensidade luminosa, têm também esta função de estabilização da tensão, que para além de aumentar o tempo de vida da lâmpada (reduzindo, assim, os custos de manutenção), asseguram economias diretas no consumo (5 a 7%) ao fazer a regulação da tensão (clipping) que excede o seu valor nominal. Quaisquer que sejam as condições de operação, a tensão de saída deverá ser mantida num intervalo de $\pm 1\%$ do valor de funcionamento definido, mesmo com consideráveis variações do valor da tensão [10].

Atualmente estão identificados tipos de sistemas de regulação de fluxo luminoso, para instalação à "cabeceira", dos circuitos de iluminação pública: Reguladores de fluxo eletrônicos que utilizam eletrônica de potência.

Reguladores de fluxo que utilizam autotransformadores, cuja comutação é efetuada por [10]:

- Circuitos eletromecânicos (relés/contactores).
- Circuitos estáticos eletrônicos (Triacs, IGBTs¹², Alternistor e tirístores).
- Autotransformadores motorizados que regulam a tensão necessária a injetar no secundário do autotransformador principal (*booster*).

Estudos realizados indicam que o tempo de vida médio da grande maioria das lâmpadas aumenta com a utilização dos reguladores de fluxo e que a depreciação do fluxo luminoso, durante esse tempo de vida, é menor (Figura 4.7). No entanto para que isso esteja garantido é necessário um acompanhamento rigoroso das parametrizações do regulador de fluxo, de modo a garantir a tensão mínima nas lâmpadas durante todo o tempo de vida do regulador [10].

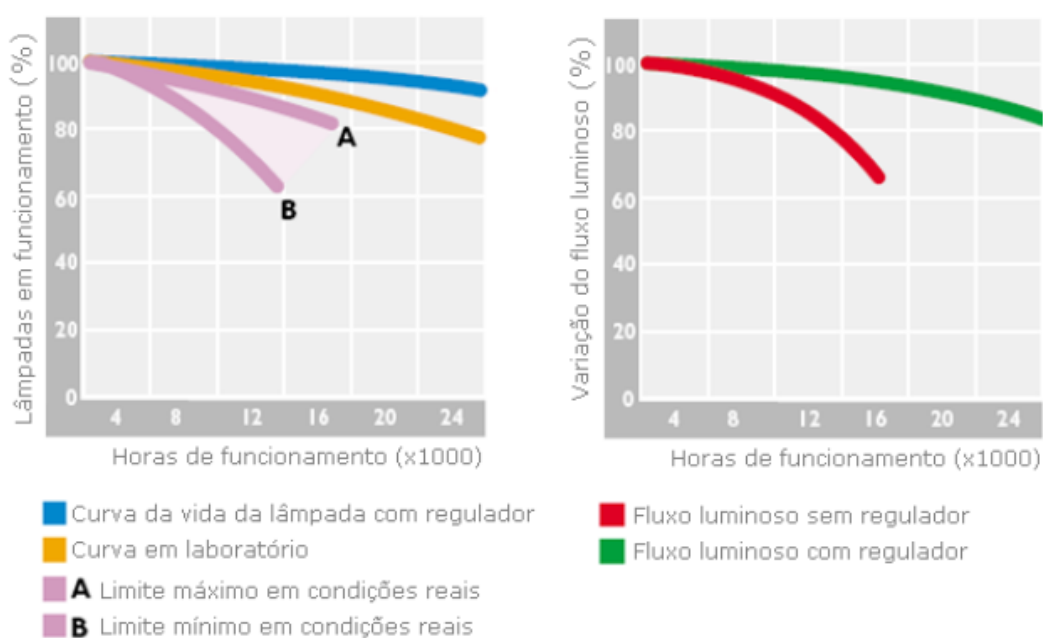


Figura 4.7 - Comparação da percentagem de lâmpadas em funcionamento (esquerda) e da variação do fluxo luminoso (direita) com e sem regulador de fluxo [10].

Praticamente todas as lâmpadas de descarga utilizadas em iluminação pública podem ser reguladas, sem que isso interfira com as suas propriedades e características. No entanto, consoante o tipo de lâmpada, cuja tensão de alimentação é regulada, a poupança alcançada irá ser diferente. Na Tabela 4.4 estão referenciadas as poupanças típicas atingidas, associadas a cada tipo de lâmpada [10].

Tabela 4.4 - Poupança energética com regulação de fluxo para cada tipo de lâmpada [10].

Tipo de lâmpada	Tensão mínima	Poupança energética
Vapor de mercúrio	200 (V)	26 – 30%
Vapor de sódio de alta pressão	183 (V)	45 – 50%
Vapor de sódio de baixa pressão	190 (V)	35%
Fluorescentes com equipamento de controlo	190 (V)	35 – 45%
CFL _s	190 (V)	30 – 45%
Iodetos metálicos	183 (V)	40%

Observa-se que reguladores de fluxo existentes no mercado conseguem proporcionar poupanças energéticas entre 25 a 50%, sem ter de recorrer ao método arcaico de desligar alguns pontos de luz da rede de iluminação. Esta técnica negligencia a necessidade de uniformidade da iluminação, ao provocar cones de sombra perigosos para os utilizadores. Adicionalmente, consegue-se com a regulação de fluxo, uma diminuição considerável da poluição luminosa. [10]

Contudo, existem alguns aspetos que deverão ser considerados. Temos que ter em atenção que a maioria dos sistemas de regulação de fluxo à cabeceira (junto ao PT) trabalha com o controlo da tensão (redução da tensão). Assim, em circuitos com mais de um tipo de lâmpadas e com grandes probabilidades de terem diferentes idades (horas de serviço) o resultado em cada lâmpada, dessa regulação, pode ser diferente. Adicionalmente, para PTs que controlem menos do que 50 luminárias, a utilização de reguladores de fluxo torna-se economicamente pouco atrativa. [10]

Outra questão importante é a extensão da rede de IP. Na Tabela 4.4 está indicada a tensão mínima para cada tipo de lâmpada. Se a regulação é feita à cabeceira e não ponto a ponto, a diferença de potencial no início da linha e no final poderá ser consideravelmente diferente. Ou seja, as lâmpadas que realmente tiverem a tensão mínima admissível aos seus terminais permanecerão ligadas, ao passo que as outras apagar-se-ão. Em caso de falha na rede, algumas lâmpadas poderão não ter, inclusive, um valor de tensão de ignição suficiente para o seu reacendimento [10].

4.5.4 Sistemas de telegestão avançados

Um sistema dinâmico de iluminação pública pode ser aplicado, com reduções na luminosidade até 50%, atingindo poupanças de energia na ordem dos 30% a 40% e aumentando o tempo em serviço dos sistemas de iluminação. Além disso, permite promover a utilização racional de energia melhorando o balanço entre a segurança e o conforto [10].

Torna-se assim evidente que se pode dar um grande salto qualitativo na área da iluminação pública, com a implementação de sistemas de telegestão de controlo adaptativo e monitorização de IP, evitando, por exemplo, os custos associados aos processos de manutenção [10].

Um sistema de telegestão adaptativo com inteligência artificial e integrado numa rede inteligente permitirá [10]:

- Ter uma rede IP mais eficiente capaz de se adaptar às necessidades de cada momento. Pode-se assim gerir o nível de iluminação em função da presença a nível rodoviário e de presença humana pedestre.
- Adaptar a cor e os restantes parâmetros luminotécnicos em função das condições ambientais.
- Adaptar o fluxo luminoso em função da iluminação ambiente.
- Deteção de derrube ou impacto.

Desta forma, adaptar-se-á às reais necessidades de iluminação, tornando-a energeticamente eficiente, em balanço com a segurança e conforto.

Adicionalmente, é possível com estes sistemas monitorizar a “idade” e o estado atual das várias lâmpadas, localizando eventuais falhas. Em suma, os sistemas de telegestão fazem o controlo, a medição e o diagnóstico de um sistema de iluminação, comunicando e utilizando essa informação através de meios e equipamentos (explicados mais à frente). Vão muito para além do envio de comandos e obtenção de feedback, uma vez que, permitem reduzir o consumo e os custos de manutenção, aumentando a qualidade de iluminação para os utilizadores. [10]

A informação atualizada a todo o momento leva a uma previsão e planeamento bastante preciso, o que proporcionará uma manutenção mais eficiente e menos dispendiosa.

O sistema de Telegestão (Figura 4.8) é constituído por [10]:

- Sistema Central de Gestão (CMS).
- Controlador de Segmento (SC).
- Controlador da Luminária Exterior (OLC).

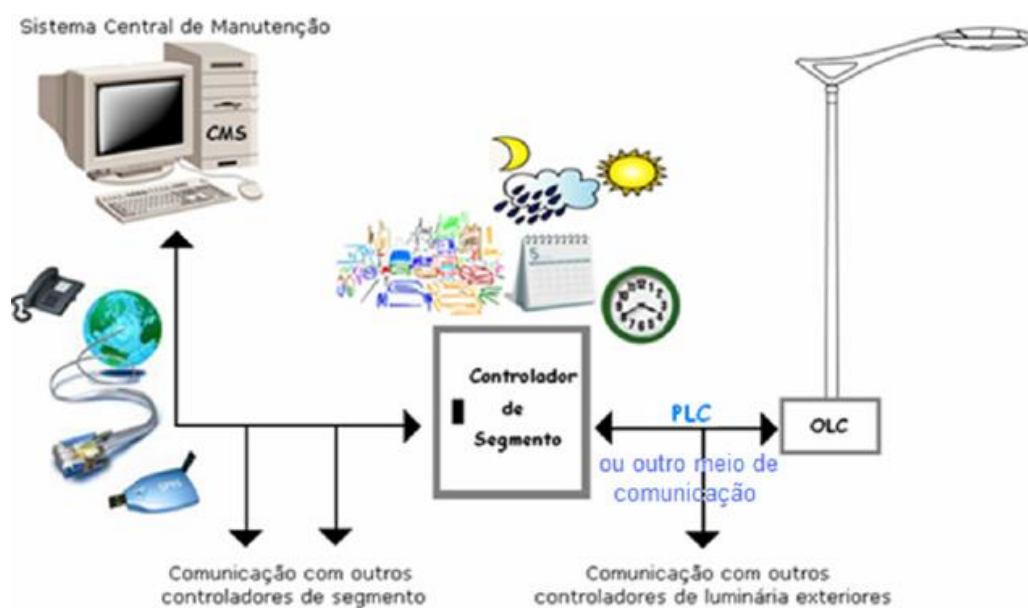


Figura 4.8 - Esquematização de um sistema de telegestão de uma rede de IP [10]

O controlador exterior da Luminária (OLC – *Outdoor Luminaire Controler*) é o aparelho que faz o controlo do balastro/driver programável da fonte de luz e de todos os

sensores existentes na luminária, proporcionando um sistema de iluminação dinâmico. Atualmente este controlador também já é apresentado como parte integrante da luminária.

As luminárias estão ligadas a uma cabina exterior de alimentação e comunicam através do controlador de segmento (SC – *Segment Controller*).

O sistema central de gestão (CMS – *Central Management System*) é usado para controlar os vários segmentos do sistema de IP, gerindo a informação transmitida pelos controladores (da luminária e de segmento) [10].

4.5.4.1 Sistemas integrantes dos sistemas de telegestão dinâmicos

Tirando partido de todos os controladores (de luminária e de segmento) e dos sistemas de comunicação, a plataforma de telegestão dinâmica deverá permitir interagir e parametrizar todos os serviços, bem como recolher dados sobre o estado de funcionamento da própria luminária e dos segmentos. Por exemplo, o sistema deverá permitir [10]:

- Monitorizar e configurar o estado de todos os parâmetros da luminária, nomeadamente os parâmetros de configuração dos sensores e o seu estado de atuação;
- Configurar as temporizações das variações do fluxo luminoso em funções do estado dos sensores;
- Estabelecer comunidades de luminárias por ruas, concelhos, distritos, etc. Nestas comunidades as luminárias deverão:
 - Ser configuradas por grupo;
 - Reagir à informação dos sensores em grupo ou individualmente;
 - Gerir as informações dos sensores em grupo ou individualmente;
 - Ajustar níveis de fluxo em função dos dados dos sensores em grupo ou individualmente;
 - Recolher toda a informação considerada útil da luminária:
 - Identificação da luminária;
 - Potência da luminária;
 - Endereço de rede;
 - Comunidade a que pertence;
 - Configuração atual dos sensores;

- Tipo de gestão (em comunidade ou individual);
- Parametrizações das sensibilidades dos sensores;
- Relações lógicas do estado dos sensores;
- Relações das informações dos sensores com a parametrização do fluxo luminoso;
- Recolha de alarmes e sua correlação. Deverá existir uma aplicação para apresentação das listas de alarmes. O nível dos alarmes deverá ser configurado em quatro níveis de criticidade (por exemplo: a sinalização de derrube deverá ter criticidade máxima);
- Configurar o sistema de regulação de fluxo.

4.6 Conclusões

Pode-se concluir que em termos de lâmpadas existem três grupos distintos, as tecnologias do passado que embora ainda possam persistir em número reduzido, estão a ser progressivamente retiradas de serviço. Existem também as tecnologias do presente que são as que apresentam maior presença nos sistemas de iluminação pública atualmente e por fim existem as tecnologias emergentes com especial ênfase para o LED. Comparativamente com a grande maioria das tecnologias convencionais existentes atualmente no mercado, a mais recente evolução da tecnologia LED garante uma melhor qualidade de iluminação e uma poupança significativa. Nos balastros existem dois grupos distintos, os eletrónicos e os magnéticos, sendo que os eletrónicos podem ainda ser diferenciados entre os de saída fixa e os controláveis, ou seja, com capacidade de *dimming*. A sua seleção terá de ter evidentemente em conta a sua eficiência, sendo que para cada potência da lâmpada estará uma potência de perdas máxima associada do balastro. Para os sistemas de controlo e de gestão de energia existem dois tipos de controlo, o “tudo ou nada” e os reguláveis. Este primeiro grupo onde se encontram o relógio astronómico e o sensor crepuscular tem basicamente como função apenas determinar quando o sistema deve ligar, desligar, ou regular a intensidade luminosa. São por isso simples e baratos. Podem existir isoladamente ou integrados na rede, desempenhando a sua função normalmente, ou então poderão estar associados aos outros tipos de sistemas de controlo (reguladores de fluxo e sistemas de telegestão). Estes últimos são equipamentos/sistemas bem mais complexos e dispendiosos. No entanto, são os que conseguem proporcionar as maiores poupanças em termos de

consumo e consequentemente da faturação, bem como na manutenção das redes de iluminação pública.

5. Iluminação pública eficiente – Casos práticos

5.1 Introdução

Com o desenvolvimento das exigências de eficiência energética, foram efetuados estudos com a finalidade de encontrar opções que satisfizessem esses requisitos. O objetivo é produzir o mesmo (ou mais) gastando menos, sendo que o ideal, naturalmente, é obter-se uma instalação com melhores características gastando menos energia.

5.2 Projeto “Aldeia LED”

Encaixado no projeto “Aldeia LED”, a freguesia de Cabeça (concelho de Seia) contou com a primeira instalação de iluminação LED em aldeias, que inclui também contadores eletrónicos de energia (visível na Figura 5.3, abaixo da luminária). A inauguração foi em Abril de 2011 e estima-se que, através desta operação, seja possível uma redução dos consumos energéticos com iluminação pública na ordem dos 80%, num investimento de 66 000 € e estará pago em 2015. Por mês, a autarquia de Seia poupa 1500 € por mês com a nova iluminação. Este concelho serrano gasta cerca de 1 milhão de euros por ano em eletricidade, dos quais, 750 000 € são destinados à iluminação pública. Os pormenores desta instalação estão ilustrados nas figuras Figura 5.1, Figura 5.2, Figura 5.3 [14].



Figura 5.1 - Aldeia de Cabeça (Seia) iluminada a LED [14].



Figura 5.2 - Aldeia de Cabeça (Seia) iluminada a LED [14].



Figura 5.3 - Aldeia de Cabeça (Seia) iluminada a LED [14].

5.3 Projeto “Aldeia LED”

A aldeia de Montesinho, em Bragança, tornou-se em novembro de 2014 a primeira da região norte a ter iluminação pública exclusivamente iluminada a LED, o que vai possibilitar uma poupança anual na ordem dos 1500 € e uma consequente redução no consumo de energia.

Esta medida tem como pano de fundo o plano do município de Bragança para a eficiência energética, sendo que a autarquia investiu 2400 € euros na substituição das 48 lâmpadas de iluminação pública pela nova tecnologia LED, que não necessita de manutenção durante 15 anos.

Na cidade de Bragança, esta tecnologia já foi instalada numa rua junto aos Paços do Concelho e no túnel da Av. Sá Carneiro, onde se registou uma redução de 85% nos consumos energéticos.

Anualmente, a autarquia brigantina gasta 1,5 milhões de euros em iluminação pública. O desejo da câmara é conseguir ter lâmpadas LED em todo o concelho, mas, por se tratar de equipamento caro, com um custo que ronda os 300 € por unidade, tal ainda não é possível.

A introdução da iluminação pública LED é uma das medidas inseridas num plano municipal que tem como metas a redução de consumos em 65% nos combustíveis dos transportes públicos, 47% nos edifícios e equipamentos municipais e 44% na iluminação, entre outras [15].



Figura 5.4 - Aldeia de Montesinho (Bragança) iluminada a LED [15].

5.4 Projeto “Rua LED”

O concelho de Pombal foi o primeiro município do País a ter uma rua iluminada com LED (Rua Fidalgo Aprendiz). As lâmpadas existentes de vapor de sódio de 325W (lâmpada mais reatância) foram substituídas por emissores LED de 80W, oferecendo assim uma poupança energética que pode chegar até aos 80%. Foram instalados 20 candeeiros com LED, num investimento de 7500 €. Prevê-se que em cinco anos, com a poupança de energia, o investimento fica pago. Esta instalação apresenta ainda como vantagem uma ausência de manutenção durante 14 anos. A nível ambiental é também uma mais-valia, visto que as lâmpadas usadas não contêm metais pesados, como mercúrio ou chumbo, nocivos para o ambiente [16].



Figura 5.5 - Luminárias a LED instaladas na Rua Fidalgo Aprendiz, Pombal [16].

5.5 Projeto “Rua LED”

A cidade de Estremoz tem a maior avenida da Europa com iluminação pública de tecnologia LED. A aplicação LED quando comparada com a tecnologia de vapor de sódio, resulta em melhor qualidade de iluminação, redução do consumo energético, redução de emissão de dióxido de carbono e poupança financeira. O equipamento tem uma duração de 14 anos e permite poupar 60% da energia consumida. O investimento foi de 40 000 € [17].



Figura 5.6 - Luminárias a LED instaladas Avenida 9 de Abril, Estremoz [18].

5.6 Projeto de iluminação nos EUA

A cidade de Manchester, no estado norte-americano de New Hampshire, vai receber 9000 lâmpadas com tecnologia LED até ao final de Setembro, um investimento que levará a uma poupança de mais de 450 000 € por ano em energia e custos de manutenção. Com 100 000 habitantes, a cidade norte-americana vai reduzir o consumo de energia em 60% e será a primeira localidade de New Hampshire a trocar a iluminação de rua por LED que duram mais anos, são energeticamente eficientes e oferecem uma maior segurança em espaços públicos. As luzes de rua europeias usam cerca de 60 TWh de eletricidade por ano – o equivalente a 2,5% do consumo europeu total. Segundo a Siemens, responsável pela

instalação de LED em Manchester, um maior uso de tecnologia LED pode reduzir os requisitos anuais de energia em 64% para 22 TWh, correspondendo a cerca de 19 milhões de toneladas métricas de emissões de CO₂ [19].



Figura 5.7 – Cidade de Manchester, no estado norte-americano de New Hampshire iluminada a LED [19].

5.7 Conclusões

Ao longo deste capítulo pode-se constatar que os mais recentes avanços na tecnologia LED vieram consolidar em definitivo a sua utilização em iluminação de espaços públicos (com destaque para a iluminação rodoviária), como resposta às limitações impostas pela maior parte das tecnologias tradicionais. A tecnologia LED garante uma redução significativa do consumo energético, uma elevada eficiência e uma qualidade de iluminação de nível superior. A redução da emissão de CO₂ para a atmosfera e a poupança financeira são um reflexo disso mesmo.

6. Avaliação técnica e económica de um caso prático

6.1 Introdução

No capítulo 3 abordou-se a metodologia para o projeto luminotécnico de iluminação pública. Neste capítulo apresenta-se a simulação do cenário escolhido enquadrando diferentes medidas para melhorar a sua eficiência energética.

Numa primeira fase pretende-se efetuar o reconhecimento desse cenário de modo a analisar o que existe.

Numa segunda fase pretende-se aplicar uma regulação de fluxo como medida de eficiência.

Na última fase será propor a substituição das luminárias existentes por luminárias LED, aplicando as tabelas do capítulo 3 de modo a cumprir os limites impostos, para obter uma iluminação de qualidade e eficiente. Foi também realizado um estudo luminotécnico com o auxílio a um programa informático de apoio ao cálculo.

Por fim de modo a verificar o proveito económico da aplicação das luminárias LED, foi a realizada uma análise económica.

É de salientar que para o cálculo luminotécnico utilizou-se o *software* de marca livre DIALux.

6.2 Caracterização do local

Este local de estudo é uma rua situada na cidade de Ermesinde concelho de Valongo. Para o estudo luminotécnico do local foi necessário recolher os dados relativos ao perfil da via e material existente, de modo a que fosse possível calcular os parâmetros luminotécnicos existentes, isto é, a situação atual. A rua em questão apresenta duas vias em sentidos opostos e tem um comprimento total de 180 metros. A largura da faixa de rodagem é de 5,5 metros, enquanto que os passeios apresentam uma largura de 0,75 metros cada um. Na Figura 6.1 pode-se observar o aspeto da rua.



Figura 6.1 – Local de estudo

A iluminação desta rua é composta por 17 luminárias, colocadas em poste de betão armado de forma quadrada com uma altura de 9 metros e com a luminária instalada em braço como se pode ver na Figura 6.2. As lâmpadas que atualmente se encontram em funcionamento são de vapor de sódio de alta pressão com uma potência de 250 W. A potência instalada tem o valor de $17 \times 250 \text{ W}$ e este circuito de IP funciona cerca de

4288,75 horas por ano. Deste cenário descrito anteriormente resulta um consumo anual de 25603,55 kWh. Esta seria a situação ideal visto que assim este circuito de IP estaria a funcionar na sua plenitude, mas a situação atual é um pouco diferente devido aos cortes que a iluminação pública tem sofrido no sentido de obter uma maior poupança na fatura energética. A situação atual conta apenas com 11 luminárias ligadas das 17 existentes, passando assim para uma potência de 11 x 250 W. O consumo anual, como era espetável diminui para os 16567 kWh. De seguida vão ser sugeridas duas alternativas para este cenário de forma a se obter uma poupança na fatura energética.



Figura 6.2 – Tipo de poste

6.3 Soluções alternativas

6.3.1 Regulação de fluxo

Nesta primeira medida pretende-se instalar um regulador de fluxo e verificar qual a poupança que se pode obter. O regulador de fluxo escolhido foi o GradiLux da marca GE Energy [Anexo A]. Além de regular o fluxo este aparelho tem a capacidade de também estabilizar a tensão. A estabilização da tensão tem um papel muito importante na poupança de energia visto que na iluminação pública as variações na tensão podem ultrapassar os 10%, o que faz com que o consumo seja cerca de 21% maior. Visto que o regulador de fluxo faz a regulação através da tensão, cada lâmpada tem um limite mínimo tensão. Neste caso o limite mínimo de tensão para as lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão especificado por este fabricante é de 180 V. A IP funciona através de um relógio astronómico, ou seja segue um horário pré-definido. Na Tabela 6.1 pode-se ver esse horário juntamente com mais alguns pormenores necessários para o cálculo que vai ser efetuado. De seguida na Tabela 6.2 temos também as horas de funcionamento da IP.

Tabela 6.1 – Horário do relógio astronómico.

Relógio astronómico		Horas/dia	Período	Dias/estação
Horário de verão	21h - 6:30h	9,5	6 Meses	183
Horário de inverno	18h - 8h	14	6 Meses	182

Tabela 6.2 – Horas de funcionamento da IP.

Horas de funcionamento da IP		Total
Horário de verão	1733,75	4288,75
Horário de inverno	2555	

O regulador de fluxo estabelece dois períodos de funcionamento, o período em que a IP funciona a potência nominal e o período em que a IP funciona a potência reduzida. Esse horário foi definido e pode ser visível na Tabela 6.3.

Tabela 6.3 – Horários de funcionamento do regulador de fluxo.

Horário de funcionamento a potência nominal	Horas/dia a potência nominal		Horas/ano a potência nominal
21:30h – 1:00h	Horário de verão	4	730
18:00h – 00:00h	Horário de inverno	6	1095
	Total		1825
Horário de funcionamento a potência reduzida	Horas/dia a potência reduzida		Horas/ano a potência reduzida
1:00h – 6:30h	Horário de verão	5,5	1003,75
00:00h – 8:00h	Horário de inverno	8	1460
	Total		2463,75

Na Tabela 6.4 pode-se observar o funcionamento do regulador de fluxo. Por fim, já com todos os detalhes definidos passamos ao cálculo final exposto na Tabela 6.5.

Tabela 6.4 – Funcionamento do regulador de fluxo.

Funcionamento do regulador de fluxo			
Estabilizando a tensão nos 220V	Poupança de 24%	19458,69	kWh
Regulando a tensão para 180 V	Poupança de 14%	16734,48	kWh
Consumo obtido com a regulação	16734,48	kWh	

Tabela 6.5 – Poupança obtida.

Situação atual				
Luminárias	Consumo		Custo de exploração	
11 Ligadas	16567	kWh/ano	1928,69	€
Situação normal				
17 Ligadas	25603,55	kWh/ano	2980,69	€
Com regulação de fluxo				
17 Ligadas	16734,48	kWh/ano	1948,18	€
Poupança anual	8869,07	kWh	1032,51	€
Poupança mensal	739,09	kWh	86,04	€
Poupança por dia	24,30	kWh	2,83	€

Analisando a Tabela 6.5 e tendo em conta os cortes na iluminação já referidos anteriormente, a situação atual expõe um consumo anual de 16567 kWh, com um custo de exploração associado de 1928,69 €. Religando as luminárias que se encontram desligadas, recorreu-se depois à regulação de fluxo de modo a não diminuir a qualidade de iluminação e ao mesmo tempo obter um custo de exploração próximo do atual. Esse objetivo foi alcançado visto que recorrendo à regulação das 17 luminárias, obteve-se um consumo anual de 16734,48 kWh com um custo de exploração de 1948,18 €. Com as 17 luminárias a funcionar sem qualquer tipo de regulação obtém-se um consumo anual de 25603,55 kWh, com um custo de exploração associado de 2980,69 €. Comparando estes dois últimos cenários, com as 17 luminárias reguladas e sem regulação, obtém-se uma poupança no custo de exploração de 1032,51 €. Conclui-se que esta solução é bastante viável, não só pelo seu custo mas também no que toca à sua instalação.

6.3.2 Solução LED

Outra das soluções sugeridas passa por substituir as 17 luminárias existentes por luminárias LED. Para isso foi necessário selecionar um fabricante e juntamente com o mesmo procurar uma solução adequada para fazer a substituição das luminárias. O fabricante escolhido foi a SONERES. Depois de fornecidos à empresa os detalhes necessários para escolha da luminária, a mesma indicou que a luminária mais adequada a este cenário seria a LUSA N/E x36 [Anexo B] visível na Figura 6.3.



Figura 6.3 – Luminária LUSA N/E x36

Tabela 6.6 – Poupança com luminárias LED.

Situação atual				
Luminárias	Consumo		Custo de exploração	
11 Ligadas	16567	kWh/ano	1928,69	€
Situação normal				
17 Ligadas	25603,55	kWh/ano	2980,69	€
Com luminárias LED				
17 Ligadas	6627,41	kWh/ano	771,54	€

Ao analisar-se a Tabela 6.6 pode-se concluir que as luminárias LED vão ter um grande impacto ao nível do consumo/custo de exploração. Com o circuito de IP a funcionar normalmente, ou seja com os 25603,55 kWh de consumo anual, ao passar para luminárias LED esse consumo anual/custo de exploração decai para cerca de quatro vezes menos. Mesmo com os cortes que este circuito sofreu, estando só onze luminárias ativas, ao passar para as dezassete luminárias LED ainda se obtém uma descensão no consumo anual/custo de exploração próxima de três vezes menos.

6.3.2.1 Classificação da via

Para seleccionar corretamente a luminária foram precisos alguns parâmetros, como a altura do poste, se a luminária vai ser instalada em braço ou na vertical e a classificação da via. Mais abaixo na Tabela 6.7 procedeu-se à classificação da via utilizando como guia o Documento de Referência para a Eficiência Energética na Iluminação Pública.

Tabela 6.7 – Classificação da via em questão.

Seleção das Classes de Iluminação – ME			
Parâmetro	Opções	Fator de peso	Seleção do fator de peso
Velocidade	Muito Alta	1	0
	Alta	0,5	
	Moderada ou Reduzida	0	
Volume de Tráfego	Muito elevado	1	-1
	Alto	0,5	
	Moderado	0	
	Baixo	-0,5	
	Muito baixo	-1	
Composição do Trânsito	Elevada percentagem de não motorizados	2	1
	Misturado	1	
	Apenas motorizado	0	
Separação de Faixas	Não	1	1
	Sim	0	
Densidade de cruzamentos	Alta	1	0
	Moderada	0	
Veículos estacionados	Presente	1	1
	Não presente	0	
Luminância ambiente	Alta	1	-1
	Moderada	0	
	Baixa	-1	
Controlo de trânsito	Fraco	0,5	0,5
	Moderado ou Bom	0	
			1,5

Fazendo a soma dos fatores de peso selecionados temos o valor final de 1,5. De seguida devemos introduzir esse valor na equação: Índice (ME) = 6 – Total obtendo o índice da classe ME. A equação deu o valor de 4,5, que poderá ser necessário arredondar para o número inteiro mais baixo. A classificação final é a seguinte: ME4b.

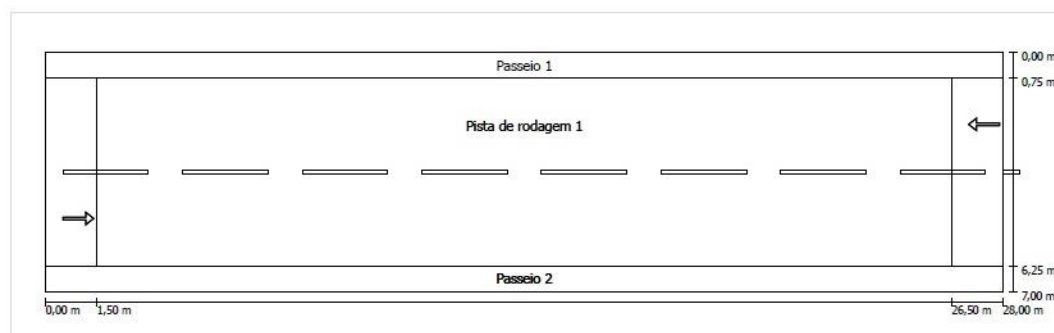
6.3.3 Estudo no DIALux

Na Figura 6.4 pode-se observar o perfil da rua em estudo, bem como alguns dos dados que já foram anteriormente mencionados, sendo eles a largura das faixas de rodagem e dos passeios. Adicionalmente é também fornecido o esquema de distribuição das luminárias ao longo da via. Na Figura 6.5 é apresentada uma perspetiva a três dimensões da via.

Esquema de rua 1

Planeamento conforme EN 13201

Perfil da rua



Escala: 1 : 100

Passeio 1

Pista de rodagem 1

Passeio 2

Factor de manutenção: 0.67

Largura: 0.750 m

Largura: 5.500 m

Quantidade das faixas de rodagem: 2

Pavimento (seco): CIE R3

q0 (seco): 0.070

Pavimento (molhado): Wet surface W3

q0 (molhado): 0.200

Largura: 0.750 m

Distribuições de luminárias

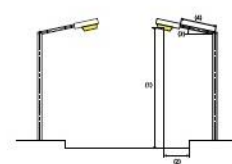


Figura 6.4 - Dados da via com software DIALux

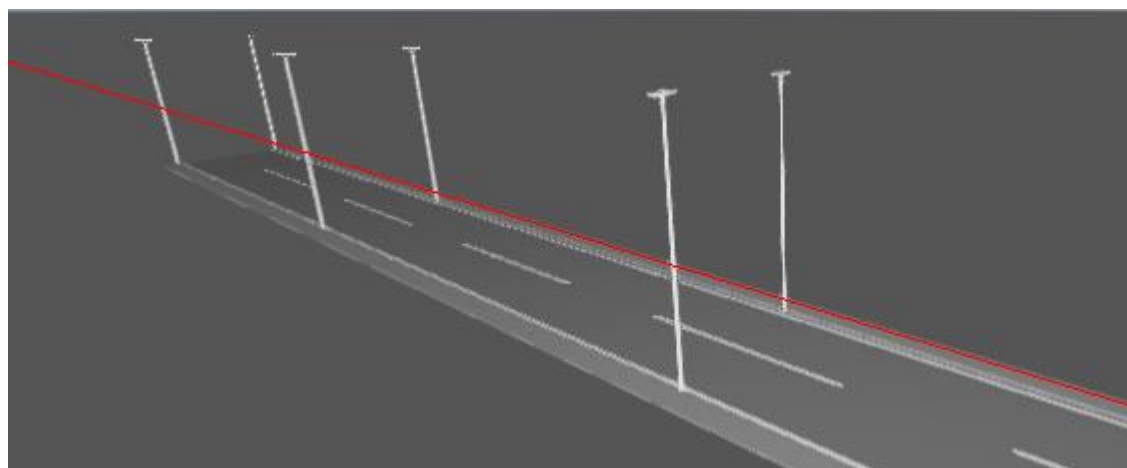


Figura 6.5 - Representação da 3D da via

Na Figura 6.6 pode-se observar as linhas isográficas na faixa de rodagem, bem como os valores da iluminância média, mínima e máxima. Na mesma figura existem também os parâmetros: luminância média (L_m), uniformidade global (U_0), uniformidade longitudinal

(U1), deslumbramento perturbador (TI) e a iluminação envolvente (SR). Ao analisar-se esses parâmetros através da figura podemos concluir que eles foram todos cumpridos.

Pista de rodagem 1 (ME4b)

Factor de manutenção: 0.67
Trama: 10 x 6 Pontos
Classe de iluminação seleccionada: ME4b
Elementos de rua correspondentes:

Pista de rodagem 1

Largura: 5.500 m
Quantidade das faixas de rodagem: 2
Pavimento (seco): CIE R3
q0 (seco): 0.070
Pavimento (molhado): Wet surface W3
q0 (molhado): 0.200

	Lm [cd/m²]	U0	UI	TI [%]	SR
Valor real conforme o cálculo	2.17	0.85	0.85	8	0.67
Valor nominal conforme o cálculo	≥ 0.75	≥ 0.40	≥ 0.50	≤ 15	≥ 0.50
Cumprido/não cumprido	✓	✓	✓	✓	✓

EAvg [lx] EMin [lx] EMax [lx] g1 g2
34 23 46 0.671 0.493

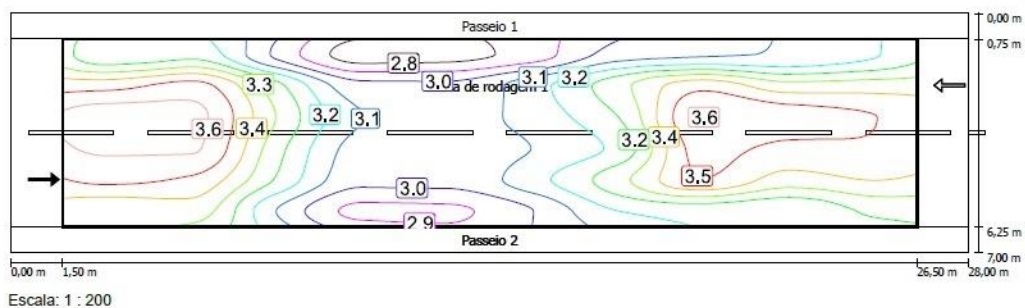


Figura 6.6 - Linhas isográficas das faixas de rodagem e valores das iluminâncias

Passeio 1 (CE5)

Factor de manutenção: 0.67
 Trama: 10 x 3 Pontos
 Classe de iluminação seleccionada: CE5
 Elementos de rua correspondentes:

Passeio 1 Largura: 0.750 m

	Em [lx]	U0
Valor real conforme o cálculo	29.16	0.71
Valor nominal conforme o cálculo	≥ 7.50	≥ 0.40
Cumprido/não cumprido	✓	✓

EAvg [lx] EMin [lx] EMax [lx] g1 g2
 29 21 39 0.707 0.525

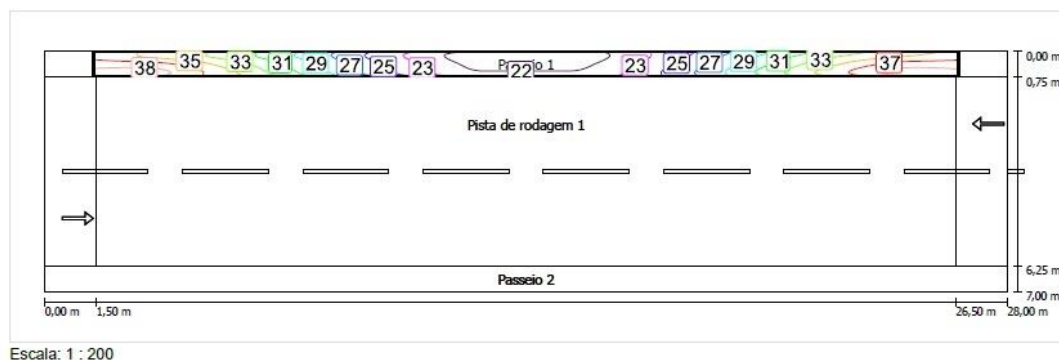


Figura 6.8 - Linhas isográficas do passeio 1 e valores das iluminâncias

Passeio 2 (CE5)

Factor de manutenção: 0.67
 Trama: 10 x 3 Pontos
 Classe de iluminação seleccionada: CE5
 Elementos de rua correspondentes:

Passeio 2 Largura: 0.750 m

	Em [lx]	U0
Valor real conforme o cálculo	29.16	0.71
Valor nominal conforme o cálculo	≥ 7.50	≥ 0.40
Cumprido/não cumprido	✓	✓

EAvg [lx] EMin [lx] EMax [lx] g1 g2
 29 21 39 0.707 0.525

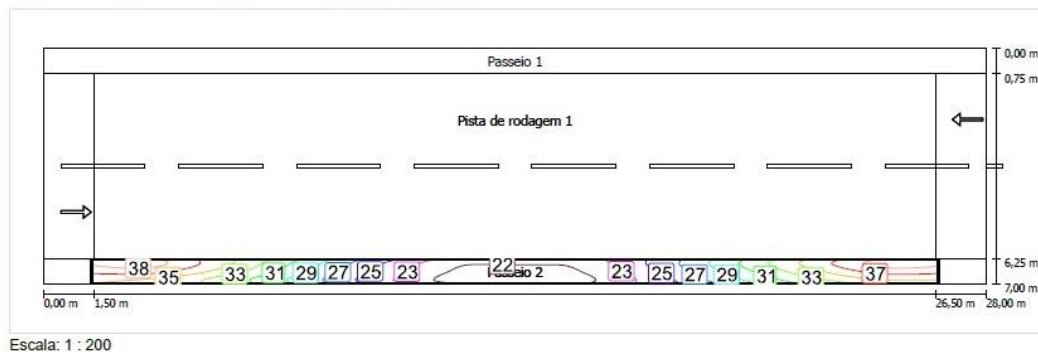


Figura 6.7 - Linhas isográficas do passeio 2 e valores das iluminâncias

Na Figura 6.8 e na Figura 6.7 pode observar-se as linhas isográficas dos dois passeios, bem como os valores da iluminância média, mínima e máxima. Como já foi mencionado anteriormente para a faixa de rodagem existem outros parâmetros que devem ser cumpridos. Para os passeios são referenciados dois parâmetros: a iluminância média (E_m) e a uniformidade global (U_0). Como se pode ver pelas figuras ambos foram cumpridos. Pode-se concluir que o projeto é tecnicamente viável visto que cumpre todos os parâmetros necessários tanto na faixa de rodagem como nos passeios.

6.4 Análise económica

6.4.1 Indicadores da avaliação económica

6.4.1.1 Valor atualizado líquido (VAL)

O método VAL consiste na atualização (ou desconto) da série anual dos cash-flows líquidos do projeto para o momento de inicial ou de arranque do projeto de investimento (momento 0). Considerando um projeto de investimento com uma vida útil de n anos, o VAL será calculado a partir da seguinte expressão [21]:

$$\sum_{j=1}^n \frac{C_j}{(1+a)^j} - \sum_{j=0}^n \frac{I_j}{(1+a)^j} \quad 6.1$$

C_j = Fluxo monetário líquido no ano j (cash flow)

I_t = Custo do investimento

a = taxa de atualização

O VAL, conforme seja positivo, nulo ou negativo, tem diferentes significados. Na Figura 6.9 pode-se observar esses mesmos significados [21].

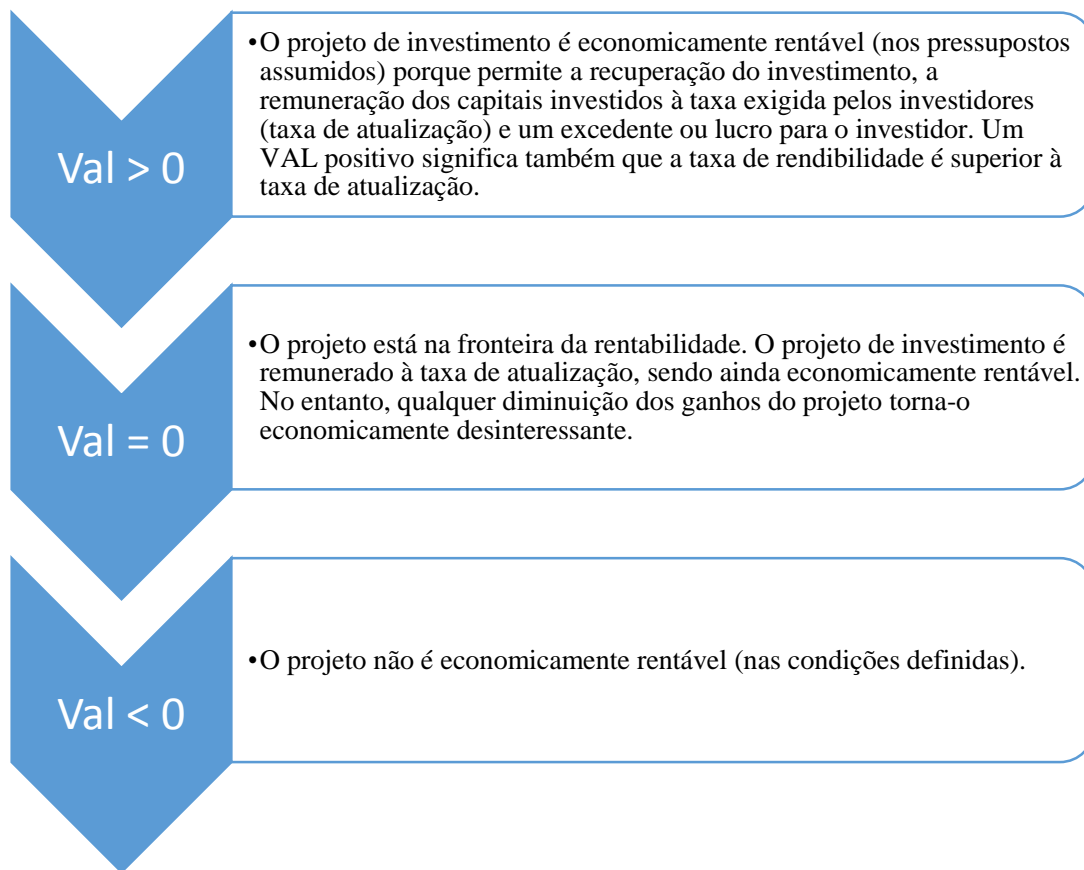


Figura 6.9 – Diferentes interpretações do VAL [21].

6.4.1.2 Taxa interna de rentabilidade (TIR)

A TIR é a taxa de atualização r dos cash-flows para a qual é nulo o VAL.

$$\sum_{j=1}^n \frac{C_j}{(1+r)^j} - \sum_{j=1}^n \frac{I_j}{(1+r)^j} \quad 6.2$$

C_j = Fluxo monetário líquido no ano j (cash flow)

I_t = Custo do investimento

r = TIR

Necessariamente que um projeto só tem um interesse em termos económicos se a TIR for superior à taxa de remuneração dos capitais investidos pretendida (taxa de

atualização), ou superior aquela que o investidor teria se aplicasse os seus capitais num investimento similar ou de menor risco (custo de oportunidade do capital) [21].

6.4.1.3 Período de recuperação do investimento (*Payback period*)

Este critério destina-se a determinar o tempo de recuperação do capital investido, ou seja o tempo necessário para que os cash-flows de exploração acumulados compensem o conjunto dos cash-flows de investimento do projeto. Na maioria dos projetos começa-se por efetuar os investimentos que depois irão permitir a geração de cash-flows de exploração positivos. Logo o VAL é em geral negativo no início do projeto e depois vai crescendo até atingir e desejavelmente ultrapassar zero. Por outras palavras, o *Payback* poderá ser entendido também como o período de tempo necessário para que o VAL atinja o valor zero. Um dos processos para realizar este cálculo será a interpolação linear. Se no final do ano p temos $VAL < 0$ e no final do ano $p+1$ temos $VAL > 0$, o valor exato do *Payback* pode estimar-se, por exemplo, pela seguinte expressão [21]:

$$Payback = p + |VAL_p| / (|VAL_p| + VAL_{p+1}) \quad 6.3$$

6.4.2 Solução LED

Para análise económica desta solução, foi considerado um tempo de vida útil da placa de LED superior a 60.000 horas de funcionamento, logo há que prever a substituição destas de 15 em 15 anos [Anexo B]. O investimento inicial será de aproximadamente 473,01 € por armadura. A Tabela 6.8 mostra os valores utilizados para o estudo, apresentando uma utilização anual de 4288,75 horas.

Tabela 6.8 – Consumos energéticos anuais.

Nº de horas de funcionamento num ano (h)	4288,75
Potência Instalada (W)	17 x 250W
Tarifa energética (€/kWh)	Ciclo Bi-horário
Consumos Energéticos Anuais (kWh)	25603,55
Custos Energéticos anuais (€)	2980,69
Redução dos custos Energéticos anuais (€)	2209,15
Taxa de atualização (%)	5
Tempo de vida da instalação (anos)	15

Tabela 6.9 – Indicadores de investimento VAL, TIR e Payback.

VAL	TIR	Payback
16 132,54 €	23%	4,85 Anos

Ao analisar-se a Tabela 6.9 pode-se concluir que o investimento em luminárias LED é economicamente viável. Tem um *payback* relativamente reduzido, ou seja os capitais investidos são recuperados num curto período de tempo. Num tempo de vida útil de 15 anos para este projeto existe um VAL de 16 132,54 €, o que significa que o investimento pagou-se a si mesmo e ainda gerou uma receita de aproximadamente o dobro do valor inicial. A TIR deste projeto é também bastante favorável visto que supera em 18% a taxa de atualização.

6.4.3 Regulação de fluxo

O investimento inicial para a montagem do regulador de fluxo será de aproximadamente 7000 €. A Tabela 6.10 mostra os valores utilizados para o estudo, apresentando uma utilização anual de 4288,75 horas.

Tabela 6.10 – Consumos energéticos anuais.

Nº de horas de funcionamento num ano (h)	4288,75
Potência Instalada (W)	17 x 250W
Tarifa energética (€/kWh)	Ciclo Bi-horário
Consumos Energéticos Anuais (kWh)	25603,55
Custos Energéticos anuais (€)	2980,69
Redução dos custos Energéticos anuais (€)	1032,51
Taxa de atualização (%)	5
Tempo de vida da instalação (anos)	15

Tabela 6.11 – Indicadores de investimento VAL, TIR e Payback.

VAL	TIR	Payback
6 472,36 €	10%	9,64 Anos

Ao analisar-se a Tabela 6.11 pode-se concluir que o investimento na regulação de fluxo é também economicamente viável. Os seus indicadores económicos não são tão favoráveis comparativamente ao investimento em luminárias LED, mas como vantagem tem um investimento inicial menor. O *payback* é bastante mais extenso, visto que a poupança também é bastante menor. A TIR mantém-se acima da taxa de atualização, o que juntamente com os outros indicadores torna este investimento viável.

6.4.4 Escolha da melhor solução técnico-económica

Ao analisar-se as três situações que foram anteriormente apresentadas, pode-se concluir que do ponto de visto técnico-económico tanto a regulação de fluxo, como as luminárias LED são soluções viáveis. Ao adotar-se a substituição das luminárias existentes por luminárias LED, o consumo/custo de exploração vai baixar bastante. Como desvantagem vai requerer um investimento maior, algo que hoje em dia poderá ser um pouco mais difícil para as autarquias. A regulação de fluxo irá trazer também uma poupança bastante significativa, e como vantagem um investimento menor. Além do

investimento ser menor, a regulação de fluxo permite poupar sem prejudicar a qualidade da iluminação. A terceira alternativa que passa por desligar alternadamente algumas luminárias encontra-se atualmente em vigor. Do ponto de vista económico esta solução é vantajosa, mas do ponto de vista técnico não, porque prejudica a qualidade de iluminação. Com a regulação de fluxo consegue-se uma poupança praticamente igual sem que haja essa diminuição na qualidade da iluminação.

6.5 Conclusões

Neste capítulo expôs-se o caso de estudo que foi previamente escolhido e foram sugeridas algumas alternativas para melhorar a sua eficiência energética. Antes de mais procedeu-se a uma caracterização do local, para saber os pormenores inerentes à classe de iluminação escolhida. Depois da primeira etapa passou-se às soluções alternativas para melhorar a eficiência do circuito de IP, começando pela regulação de fluxo e terminando na substituição das luminárias atuais por umas luminárias LED. Por fim realizou-se uma análise económica para a substituição das luminárias e também para a instalação da regulação de fluxo, com vista a verificar a viabilidade o investimento. Ambas as soluções são vantajosas, embora a substituição das luminárias signifique um maior encargo financeiro. Já a regulação de fluxo requer um investimento menor mas como é espectável estima uma poupança menor.

7. Conclusão

Cada vez mais nos dias que correm a temática da gestão dos recursos energéticos ocupa um lugar central nas preocupações da Humanidade. Ao longo deste trabalho, abordaram-se alguns temas importantes, relacionados com a eficiência energética na iluminação pública. O objetivo do trabalho desenvolvido foi o de analisar um circuito do parque de iluminação pública de uma freguesia para depois propor medidas com vista a melhorar a sua eficiência. Esse objetivo foi alcançado visto que ambas as medidas propostas melhoram a eficiência do mesmo. Embora envolvam um investimento inicial, existem duas opções em que a primeira tem um investimento menor para uma poupança considerável. A segunda medida proposta tem um investimento maior mas envolve uma poupança ainda maior e um tempo de vida útil bastante extenso. Para que fosse possível cumprir o objetivo citado anteriormente foi necessário entender uma série de parâmetros técnicos que um projeto de IP deve seguir de modo a obter uma maior eficiência energética. Uma maior eficiência tem como consequência uma diminuição das emissões de CO₂ durante o período de utilização das mesmas. Com esta reformulação conseguiu-se uma instalação de iluminação pública mais eficiente e sustentável, com um menor consumo energético e com menos emissões de CO₂. Deve ser prioritário para as autarquias que sejam garantidos os padrões de qualidade necessários para que possam proporcionar o bem-estar dos futuros utilizadores. Por fim, e como em qualquer tipo de projeto, há que ter em conta nos projetos luminotécnicos a sua viabilidade económica, analisando até que

ponto um investimento pode ser interessante em detrimento de outro. Neste trabalho essa vertente foi desenvolvida para que se possa decidir se o investimento é viável ou não.

7.1 Trabalho futuro

Embora a tecnologia LED já comece a ser utilizada mais frequentemente na iluminação pública, ainda se encontra numa fase um pouco precoce visto que envolve custos um pouco elevados e as autarquias muitas vezes não têm o poder económico necessário para realizar o investimento. Durante a realização deste trabalho encontrei alguns conteúdos relacionados com essa temática mas em comparação com outros tipos de tecnologias pode-se dizer que são algo escassos. Outra temática que pode ser suscetível de estudo é o impacto provocado na rede elétrica pela introdução de aparelhos eletrónicos visto que nas redes IP cada vez se aplicam mais balastros eletrónicos ou LED. Esses aparelhos introduzem harmónicos na rede elétrica e podem prejudicar a sua qualidade.

Bibliografia

- [1] ADENE - Agência para a energia. Disponível em <http://www.adene.pt/iluminacao-publica>. Visitado em 02/05/2015.
- [2] Santos, Cristiana Raquel Aragão – Iluminação Pública e Sustentabilidade Energética [Texto policopiado]. Porto : [s.n.], 2011. Tese de mestrado.
- [3] European Committee for Standardization, “Road lighting – Part 2: Performance requirements (2003)”.
- [4] European Committee for Standardization, “Road lighting – Part 3: Calculation of performance (2003)”.
- [5] European Committee for Standardization, “Road lighting – Part 4: Methods of measuring lighting performance (2003)”.
- [6] PORDATA. Disponível em <http://www.pordata.pt/Home>. Visitado em 04/05/2015.
- [7] Drlux Iluminação Eficiente. Disponível em <http://www.drlux.com.br/blog/guia-basico-de-iluminacao/>. Visitado em 05/05/2015.
- [8] [ADENE, 2011] Documento de Referencia para a Eficiência Energética na Iluminação Pública. ADENE - Agencia para a Energia, Janeiro de 2011.
- [9] Wikienergia Disponível em http://www.wikienergia.pt/~edp/index.php?title=Intensidade_luminosa_%28medida%29. Visitado em 09/05/2015.
- [10] [MIP, 2010] Manual de Iluminação Publica, Volumes 1, 2 e 3. EDP Distribuição, ISR – UC, 2010.
- [11] Rocha, Filipe Andrade da e Alves, Filipe Lopes., Eficiência Energética em Edifícios: Luminotecnica e Transporte Vertical. Porto: FEUP, 2007.

- [12] Tipos de lâmpadas. Disponível em <http://www.electronica-pt.com/luzes/lampadas>. Visitado em 16/05/2015.
- [13] Tipos de lâmpadas. Disponível em http://www.ecivilnet.com/artigos/lampadas_e_reatores.htm. Visitado em 16/05/2015.
- [14] Aldeia LED. Disponível em <http://greensavers.sapo.pt/2013/07/05/a-primeira-aldeia-led-de-portugal-com-video/>. Visitado em 20/05/2015.
- [15] Aldeia LED. Disponível em <http://greensavers.sapo.pt/2014/11/05/aldeia-de-montesinho-ja-e-100-iluminada-a-led/>. Visitado em 22/05/2015.
- [16] Blog Melich LED. Disponível em <http://ledluxled.blogspot.pt/search?q=Pombal+LED>. Visitado em 02/06/2015.
- [17] Disponível em http://www.dn.pt/inicio/portugal/interior.aspx?content_id=1394010. Visitado em 06/06/2015.
- [18] Disponível em <https://interurbano.wordpress.com/tag/estremoz-tem-maior-led/>. Visitado em 14/06/2015.
- [19] Disponível em <http://greensavers.sapo.pt/2015/08/16/eua-cidade-de-100-000-habitantes-poupa-e450-000-com-mudanca-para-led/>. Visitado em 20/06/2015.
- [20] Teixeira, Armínio., Eficiência energética das instalações de iluminação – Utilização de balastros eletrónicos. Porto: FEUP, 2002.
- [21] Pinto, Carlos A. Marques, et al. – Fundamentos de gestão. 3ª Edição. Barcarena: Editorial Presença, 2006. 978-972-23-3654-3

Anexos

Anexo A

GE Energy
Industrial Solutions



GradiLux™

Estabilizadores-reguladores
de flujo luminoso



GE imagination at work

GradiLux™, reduce el consumo excesivo de potencia

La iluminación pública supone la mayor parte de la factura energética municipal con una media de 4000 horas anuales. Estas instalaciones de iluminación están sometidas a considerables variaciones de tensión a lo largo de la noche, incrementando el consumo de potencia y

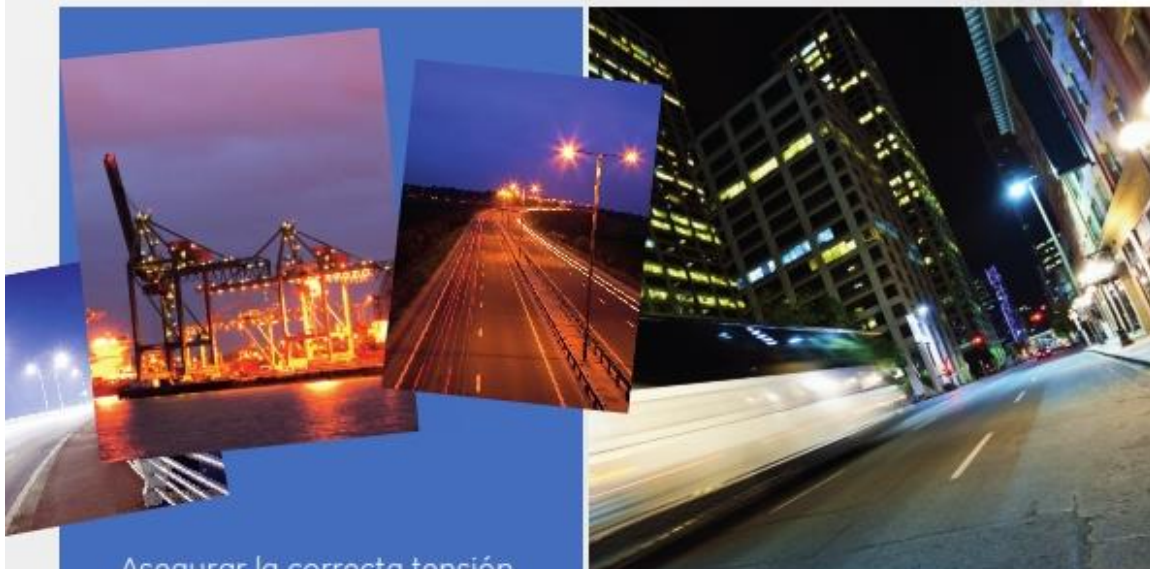
reduciendo la vida útil de las lámparas. Además, los niveles de luminosidad, raramente se adaptan al tráfico de vehículos o de personas en las calles, aún cuando la necesidad de operar a máxima potencia disminuye considerablemente a partir de medianoche.



Minimizar costes pero manteniendo el confort

El control del consumo energético de las instalaciones de iluminación es esencial para maximizar su eficiencia y minimizar los costes, pero al mismo tiempo manteniendo su función y confort. Los estabilizadores-reguladores de flujo luminoso GradiLux™ representan la vanguardia tecnológica para alcanzar importantes reducciones de consumo, con un retorno rápido de la inversión y una menor emisión de CO₂.





Asegurar la correcta tensión de alimentación

La calidad en el suministro de la energía es esencial para el ahorro energético. El estabilizador-regulador GradiLux™ asegura el correcto suministro de tensión en las instalaciones de iluminación en todo momento, obteniendo con ello importantes reducciones tanto de consumo energético como de emisiones de CO₂.



Estabilizador

Las instalaciones públicas luminicas experimentan considerables variaciones de la tensión durante la noche. Estas variaciones en la tensión pueden ser mayores del 10%, incrementando el consumo de energía en el 21%. Mediante la estabilización de los niveles de iluminación a la tensión nominal, se obtienen unos resultados sustanciales en cuanto a la reducción en el consumo de energía.



Regulador

Las instalaciones públicas luminicas generalmente mantienen constante el nivel de luminosidad a lo largo de toda la noche. Regulando los niveles de luminosidad a partir de la medianoche, adaptándolos al tráfico de vehículos o de personas en las calles y avenidas, aporta unos ahorros sustanciales en el consumo de energía.

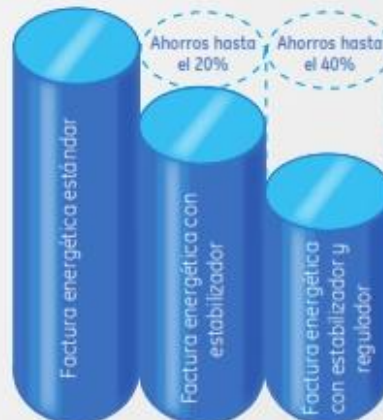




Las ventajas de GradiLux™

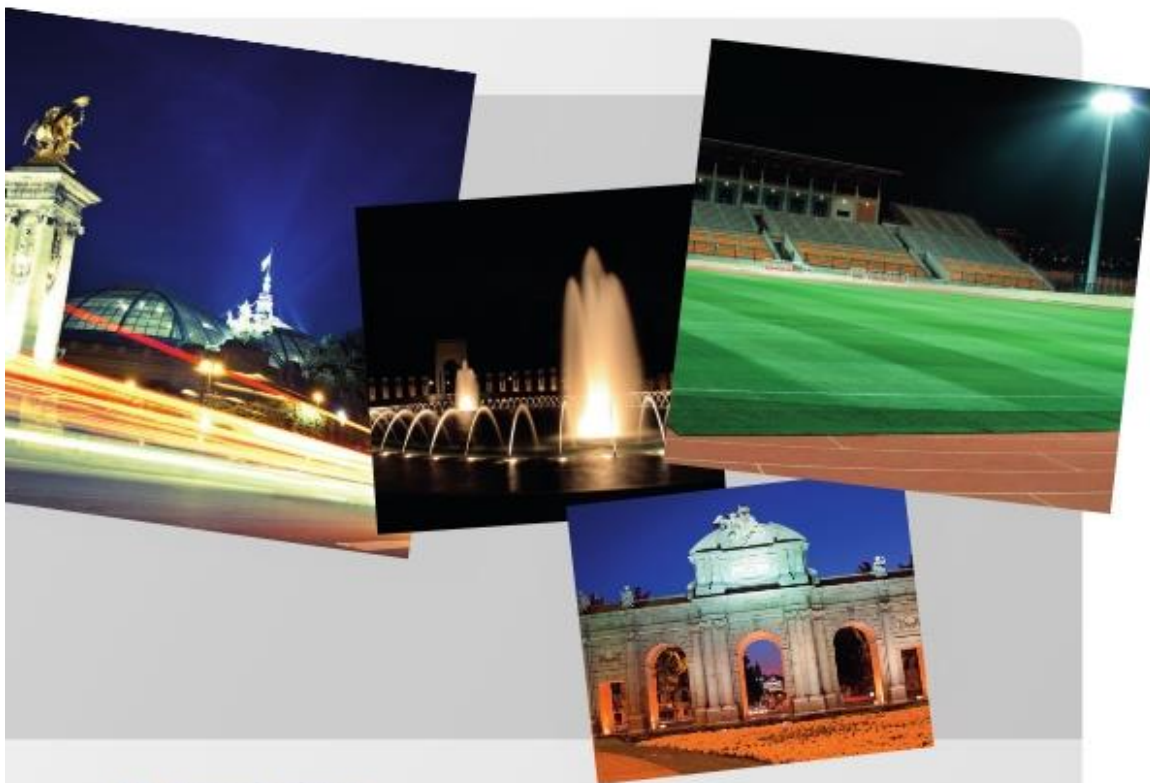
Los estabilizadores-reguladores GradiLux reducen el consumo de energía en las instalaciones luminicas mediante la regulación y estabilización del flujo luminoso. GradiLux™ asegura el suministro correcto de tensión a la red luminica en todo momento, consiguiendo de este modo unas importantes reducciones tanto de consumo de energía como en emisiones de CO₂.

- ✓ Minimiza el gasto público
- ✓ Maximiza la eficiencia de la iluminación pública
- ✓ Ahorro de hasta el 40% en la factura energética
- ✓ Reducción en las emisiones de CO₂
- ✓ Rápido retorno de la inversión



Este diagrama ilustra el importante ahorro que existe con la utilización del estabilizador-regulador GradiLux™.





Un ejemplo típico

Considerando:

- Una ciudad de 25.000 habitantes
- Un punto de luz por cada 7 habitantes, esto significa un total requerido de 3.600 puntos de luz
- Cada punto de luz está equipado con lámparas de sodio de alta presión de 150W, con un resultado total de potencia instalada de 540kW.
- De promedio, una instalación luminica pública funciona aproximadamente 4000 horas anuales, regulando la tensión entre las 00:00 hasta las 6:00

Resultado:

Sin GradiLux™	Consumo	Emisiones
Funcionando a 230V con un 10% de sobretensión	2.613 MWh	784 MTon

Con GradiLux™	Consumo	Emisiones	Ahorros
Estabilizando a 220V	1.976 MWh	592 MTon	24%
Regulando a 180V	1.618 MWh	485 MTon	14%
Ahorro TOTAL			38%



5

La Solución Total para aplicaciones de iluminación pública y privada



es

Estadios



Industria portuaria



Fuentes



Estaciones



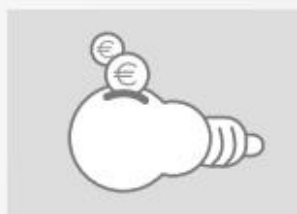
7

¿Por qué utilizar GradiLux™?



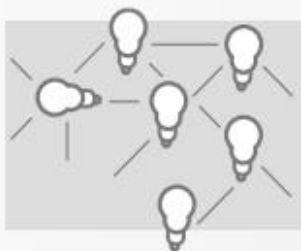
Instalación sencilla

- Instalación rápida y simple
- Tanto para instalaciones nuevas como para las ya existentes
- Diseño compacto con alta densidad de potencia



Retorno rápido de la inversión

- Bajo coste de mantenimiento
- Importante ahorro en consumo
- Incremento de la vida útil de las lámparas



Aplicación versátil

- Puede utilizarse para cualquier tipo de lámparas
- Disponible para un amplio rango de potencias
- Unidad compacta o unidad modular



Seguro y fiable

- Última tecnología de vanguardia
- Diseño robusto con fases independientes
- Bypass manual o automático

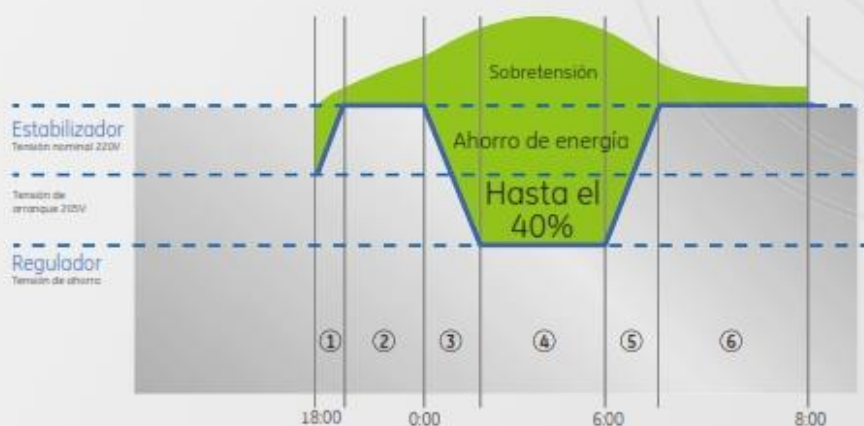


Fácil uso

- Opción de bypass manual
- Control y monitorización remoto
- Diseño modular



Modo de funcionamiento



- ① Arranque suave progresivo, adaptado al ciclo de calentamiento de las lámparas, evitando así la sobrecarga inicial
- ② Estabilización de la tensión nominal, con una precisión del 1%, hasta que el equipo inicia el modo operativo de ahorro
- ③ Rampa suave de reducción de la tensión nominal hasta la tensión de ahorro. La velocidad máxima de la rampa es de 6V por minuto.
- ④ Regulación de la tensión de ahorro, con una precisión del 1%. El tipo de lámpara determina la tensión mínima de ahorro
- ⑤ Rampa suave de aumento de la tensión de ahorro hasta la tensión nominal. La velocidad máxima de la rampa es de 6V por minuto
- ⑥ Estabilización de la tensión nominal, con una precisión del 1% hasta que se apague el equipo.

Modo 0



1 ciclo - 1 tensión de ahorro
- Parkings, industria
- Aeropuertos, estaciones



Modo 1



1 ciclo - 2 tensiones de ahorro
- Autopistas
- Ciudades



Modo 2



2 ciclos - 1 tensión de ahorro
- Túneles



Tensiones de ahorro recomendadas

Tipo de lámpara	Tensión mín.
Sodio de alta presión	180
Halogenuros metálicos	180
Sodio de baja presión	190
Fluorescente	190
Vapor de mercurio	200
Halogenuros Cerámicos	205
Lámparas varias	205

- ✓ Consultar las instrucciones del fabricante
- ✓ Gradilux no puede ser utilizado con lámparas LED ni lámparas equipadas con balastro electrónico.



9

Bajo mantenimiento y fácil uso

Tecnología de vanguardia

Diseñado 100% con tecnología electrónica estática para una conversión continua y directa AC/AC. La ausencia de transformadores y de partes móviles dan como resultado un tamaño pequeño y un reducido peso. La alta densidad de potencia simplifica mucho su integración dentro de las instalaciones luminosas.

Diseño modular

Su configuración modular mejora significativamente la operativa y el mantenimiento del equipo. Cada fase de alumbrado está regulada por un módulo independiente, alcanzando el aislamiento total para las fases de alumbrado. Además, cada módulo puede ser reemplazado o reparado separadamente en caso de avería o de mantenimiento.

Fiabilidad operativa

El bypass manual o automático asegura una operativa fiable de las instalaciones luminosas en todo momento. El bypass automático, independiente por cada fase, proporciona protección con rearme automático contra sobrecargas, altas temperaturas o un funcionamiento defectuoso. El bypass manual permite el mantenimiento, mientras mantiene la operatividad de la instalación luminosa.

Seguridad en la protección

Incorpora varistores en entrada y salida para evitar sobretensiones transitorias, mientras que los filtros EMI proporcionan protección de acuerdo con las normativas EMC. Estos componentes están protegidos mediante fusibles contra sobrecargas prolongadas. Opcionalmente están disponibles los descargadores atmosféricos.





Control total

A través de su pantalla permite un control total del equipo con una alta precisión en la medición, monitorización avanzada de datos y la configuración de los parámetros. El interface Modbus permite una fácil integración con los sistemas de gestión. E/S digitales complementan las posibilidades de funcionamiento de control local. El panel de control permite la configuración local "in situ" del equipo.



Panel de control

Gestión remota

La carta de comunicación Ethernet soporta protocolos TCP/IP y SNMP para acceso sencillo a web, mientras que el sistema GPRS permite la comunicación sin hilos "wireless" a internet. El portal web para gestión remota incluye características como control remoto, configuración y diagnóstico de la flota de equipos.



Comunicación

Control remoto



Pantalla de control

- Resumen basado en diferentes datos
- Informes de las instalaciones GradiLux™ (diferentes instalaciones y ciudades)
- Visualización de cada GradiLux en un mapa detallado o en el árbol de instalaciones.
- Amplio rango de opciones de análisis (gráficos diario/mensual/anual, ahorro de energía, de CO₂, etc)



Seguridad

- Seguridad del servidor
- Control en modo seguro a través de VPN
- Configuración de su instalación GradiLux, donde puede definir otros usuarios con acceso al control y monitorización.



Ahorros

- Reducción de los costes de mantenimiento mediante notificación de alarmas
- Permite un diagnóstico rápido con datos en tiempo real de cada GradiLux con su estado e información de las mediciones

GradiLux



Conexión GPRS segura a través de VPN



Operador móvil



GE backend



Firewall



Internet



Usuario final

HTTPS Web browsing

GradiLux™ Guía de selección

Comunicación

1. Unidad compacta

- Controlador con display para control y configuración local
- Panel LCD: para control y configuración local
- Incluye calendario y gestión de tiempos, reloj astronómico y gestor de alarmas.
- Información sobre tensiones de entrada y salida, potencias activa y aparente, factor de potencia, medidas de carga y ahorro.
- Puertos comunicación: RS232 con conector RJ45 para comunicación Modbus local.

2. Versión Web

Incluye características adicionales de comunicación para configuración y control remoto.

- Módulo ComiTEQ: dispositivo de comunicación, para interface de comunicación Ethernet soportando protocolos TCP/IP y SNMP para acceso remoto desde portal web.
- Modem opcional GPRS: dispositivo de comunicación sin hilos "wireless" para acceso remoto desde portal web.
- Funciones de datos con 6000 posiciones, programables desde 1 seg. hasta 1 hora
- Alarmas para 200 eventos

3. Opciones E/S

Incluye características de comunicación digital adicionales para control y configuración local

- 5 entradas digitales y 5 relés de salida
- Puerto RS232 y puerto comunicación RS485 para comunicación local Modbus
- 2 puertos analógicos



Ejecución

1. Unidad compacta

Tres módulos montados en un chasis horizontal o vertical para una rápida y fácil instalación



2. Unidad modular

Uno o tres módulos con kit de fijación e interconexión para su uso específico en la instalación



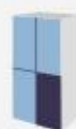
Composición de la Referencia

G	L	I	N/X	## (kva)	K / V / H	S / CC / IC / CIC	-B
Gradi	Lux	IGBT con display	N = 1ph K = 3ph	03= 3,5kVA 06= 6,7kVA 07= 7,5kVA 10= 10kVA 15= 15kVA 20= 20kVA 25= 25kVA 30= 30kVA 45= 45kVA	K = Kit modular V = Vertical H = Horizontal	S = Estándar CC = Carta ComiTEQ IC = Carta E/S digitales CIC = Carta ComiTEQ y E/S	Incluye bypass manual



Tipos

Unidades compactas



	Potencia (kVA)	HORIZONTAL				VERTICAL			
		Sin bypass manual		Con bypass manual		Sin bypass manual		Con bypass manual	
		Tipo	Nº Cód.	Tipo	Nº Cód.	Tipo	Nº Cód.	Tipo	Nº Cód.
Estándar	7,5	GLX07HS	817718	GLX07HS-B	817732	GLX07VS	817711	GLX07VS-B	817725
Con carta Comunicación		GLX07HCC	817818	GLX07HCC-B	817832	GLX07VCC	817811	GLX07VCC-B	817825
Con carta E/S		GLX07HIC	817218	GLX07HIC-B	817232	GLX07VIC	817211	GLX07VIC-B	817225
Con carta Com. y E/S		GLX07HCIC	817318	GLX07HCIC-B	817332	GLX07VCIC	817311	GLX07VCIC-B	817325
Estándar	10,5	GLX10HS	817719	GLX10HS-B	817733	GLX10VS	817712	GLX10VS-B	817726
Con carta Comunicación		GLX10HCC	817819	GLX10HCC-B	817833	GLX10VCC	817812	GLX10VCC-B	817826
Con carta E/S		GLX10HIC	817219	GLX10HIC-B	817233	GLX10VIC	817212	GLX10VIC-B	817226
Con carta Com. y E/S		GLX10HCIC	817319	GLX10HCIC-B	817333	GLX10VCIC	817312	GLX10VCIC-B	817326
Estándar	15	GLX15HS	817720	GLX15HS-B	817734	GLX15VS	817713	GLX15VS-B	817727
Con carta Comunicación		GLX15HCC	817820	GLX15HCC-B	817834	GLX15VCC	817813	GLX15VCC-B	817827
Con carta E/S		GLX15HIC	817220	GLX15HIC-B	817234	GLX15VIC	817213	GLX15VIC-B	817227
Con carta Com. y E/S		GLX15HCIC	817320	GLX15HCIC-B	817334	GLX15VCIC	817313	GLX15VCIC-B	817327
Estándar	20	GLX20HS	817721	GLX20HCC-B	817735	GLX20VS	817714	GLX20VS-B	817728
Con carta Comunicación		GLX20HCC	817821	GLX20HCC-B	817835	GLX20VCC	817814	GLX20VCC-B	817828
Con carta E/S		GLX20HIC	817221	GLX20HIC-B	817235	GLX20VIC	817214	GLX20VIC-B	817228
Con carta Com. y E/S		GLX20HCIC	817321	GLX20HCIC-B	817335	GLX20VCIC	817314	GLX20VCIC-B	817328
Estándar	25	GLX25HS	817722	GLX25HS-B	817736	GLX25VS	817715	GLX25VS-B	817729
Con carta Comunicación		GLX25HCC	817822	GLX25HCC-B	817836	GLX25VCC	817815	GLX25VCC-B	817829
Con carta E/S		GLX25HIC	817222	GLX25HIC-B	817236	GLX25VIC	817215	GLX25VIC-B	817229
Con carta Com. y E/S		GLX25HCIC	817322	GLX25HCIC-B	817336	GLX25VCIC	817315	GLX25VCIC-B	817329
Estándar	30	GLX30HS	817723	GLX30HS-B	817737	GLX30VS	817716	GLX30VS-B	817730
Con carta Comunicación		GLX30HCC	817823	GLX30HCC-B	817837	GLX30VCC	817816	GLX30VCC-B	817830
Con carta E/S		GLX30HIC	817223	GLX30HIC-B	817237	GLX30VIC	817216	GLX30VIC-B	817230
Con carta Com. y E/S		GLX30HCIC	817323	GLX30HCIC-B	817337	GLX30VCIC	817316	GLX30VCIC-B	817330
Estándar	45	GLX45HS	817724	GLX45HS-B	817738	GLX45VS	817717	GLX45VS-B	817731
Con carta Comunicación		GLX45HCC	817824	GLX45HCC-B	817838	GLX45VCC	817817	GLX45VCC-B	817831
Con carta E/S		GLX45HIC	817224	GLX45HIC-B	817238	GLX45VIC	817217	GLX45VIC-B	817231
Con carta Com. y E/S		GLX45HCIC	817324	GLX45HCIC-B	817338	GLX45VCIC	817317	GLX45VCIC-B	817331

Tipos

Kits modulares



Monofásico		
Sin bypass manual		
Potencia (kVA)	Tipo	Nº Cód.
3,5	GLN03KS	817700
6,7	GLN06KS	817701
10	GLN10KS	817702
15	GLN15KS	817703



Trifásico		
Sin bypass manual		
Potencia (kVA)	Tipo	Nº Cód.
7,5	GLX0K	817704
10,5	GLX10KS	817705
15	GLX15KS	817706
20	GLX20KS	817707
25	GLX25KS	817708
30	GLX30KS	817709
45	GLX45KS	817710

Opciones

Descripción	Potencia (kVA)	Entrada	Tipo	Nº Cód.
Módulo ComiTEQ	3,5 - 45kVA	Monofásico y trifásico	GLCB	817801
Módulo E/S digitales	3,5 - 45kVA		GLIOB	817803
Modem GSM/GPRS	3,5 - 45kVA		GLCMDM	817806



Módulo ComiTEQ



Módulo E/S digitales



Modem GSM/GPRS



Características

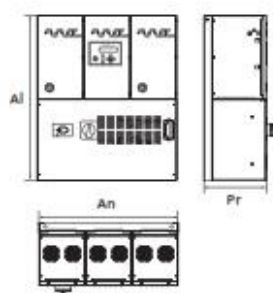
TECNOLOGÍA		Convertidor "Buck" bidireccional a IGBTs, electrónica, estático y sin transformador
ENTRADA	Tensión	Monofásica: 230V / Trifásica: 3 x 400V
	Margen de regulación	+25% / -7% tensión nominal
		+25% / -17% tensión reducida VSAP (Vapor Sodio Alta Presión)
		+25% / -10% tensión reducida VM (Vapor de Mercurio)
	Frecuencia	48 - 65 Hz
SALIDA	Protección del módulo	Fusibles y varistores en entrada y salida para protección de averías y sobrecargas
	Protección por fase	Seccionador
	Tensión	Regulable de 215V a 230V (de serie 220V)
	Precisión de regulación	Mejor que el ±1% para rango tensión de entrada 230V +20%/-3%
	Tensión de arranque suave	Preseleccionada a 205V y ajustable
BYPASS	Tensión de ahorro	Ajustable entre 380V y 210V
	Ajuste velocidad rampas	Desde 1 V/minuto hasta 6V/minuto
	Tiempo de respuesta	< 20ms
	Regulación	Lineal e independiente por fase
	Rendimiento	> 96%
COMUNICACIÓN	Desequilibrio entre fases	Admisible 100%
	Ajuste tensión reducida	Mediante panel LCD o comunicaciones serie RS-232
	Sobrecarga admisible	110%, 120% y 150% nominal (se aplica límite duración)
	Tipo	Sin paso por cero
	Características	Automático, reversible, uno por fase con funcionamiento independiente, entrada para activación manual
GENERAL	Criterio de actuación	Sobretensión, sobrecarga, avería, fallo salida, activación manual
	Rearme	Automático debido a anulación de alarma
		Número de reintentos: 5 - Tiempo entre reintentos: 2 minutos
	Puertos	RS-232 y RS-485
	Monitorización	Carta comunicación ComiTEQ TCP/IP requerida
EJECUCIONES	Temperatura de funcionamiento	-20°C hasta +35°C (se aplica una desclasificación de 4%/°C a 40°C o 43°C dependiendo del módulo de potencia y la tensión de trabajo)
	Grado de protección	IP20 (not suitable for unprotected outdoor use)
	Humedad relativa	Hasta el 93%, sin condensación
	Altitud máxima	2400m s.n.m.
	Tiempo medio entre fallos (MTBF)	24.000 horas (5kVA & 6.7kVA) 21.682 horas (10kVA & 15kVA)
NORMATIVA	Ruido acústico a 1 metro	<48 dBA (con carga típica)
	Unidad compacta	Módulos montados sobre una base de montaje I-chassis de acero laminado al carbono en frío con taladros para fijar a pared
	Unidad modular	3 módulos + soportes de fijación + kit interconexión control
	Seguridad	EA0032-2007
	Compatibilidad electromagnética (CEM)	IEC 62041-2003
OPCIONES	Descargadores	Protecciones contra sobretensiones
	Bypass manual	Interruptor para tareas de mantenimiento sin desconectar el alumbrado
	Módem GPRS	Módulo para la comunicación para acceso a la web
	Módulo ComiTEQ	Módulo para la comunicación TCP/IP para acceso a internet
	E/S digitales	E/S de uso general

Note: GradiLux no trabaja con lámparas led y lámparas con balasto electrónico

Dimensiones

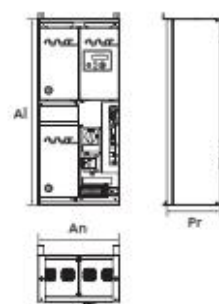
Unidades compactas - Horizontal

Potencia (kVA)	Dimensiones (mm) (Al x An x Pr)	Peso (Kg)
7,5	610 x 520 x 240	29
10		30
15		31
20		33
25	770 x 520 x 240	54
30		55
45		56



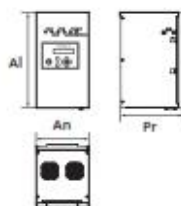
Unidades compactas - Vertical

Potencia (kVA)	Dimensiones (mm) (Al x An x Pr)	Peso (Kg)
7,5	823 x 350 x 243	29
10		30
15		31
20		33
25	1142 x 350 x 243	54
30		55
45		56



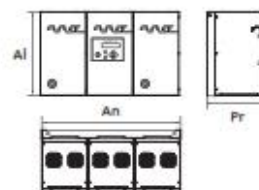
Unidades modulares - Monofásicas

Potencia (kVA)	Dimensiones (mm) (Al x An x Pr)	Peso (Kg)
3,5	345,4 x 172 x 200	6
5		6
10	505 x 172 x 200	14
15		14



Unidades modulares - Trifásicas

Potencia (kVA)	Dimensiones (mm) (Al x An x Pr)	Peso (Kg)
7,5	345,4 x 516 x 200	19
10		19
15		19
20		19
25		53
30	505 x 516 x 200	53
45		53



Soluciones de alta eficiencia

	Base	Lámpara	Balasto EM
 ODYSSEY*	Vidrio liso	HPS	50W 70W 100W 150W
		CMH CMH StreetWise™	50W 70W 100W 150W
	Vidrio templado curvo	HPS	50W 70W 100W 150W
		CMH CMH StreetWise™	50W 70W 100W 150W
 IBERIA PREMIUM*	Vidrio liso	HPS	50W 70W 100W 150W 250W
		CMH CMH StreetWise™	50W 70W 100W 150W 250W
	Vidrio templado curvo	HPS	50W 70W 100W 150W 250W
		CMH CMH StreetWise™	50W 70W 100W 150W 250W
 EURO-2	Vidrio templado curvo	HPS	50W 70W 100W 150W 250W
		CMH CMH StreetWise™	50W 70W 100W 150W 250W
 LUNALYT	Vidrio templado curvo	HPS	70W 100W 150W 250W
		CMH CMH StreetWise™	70W 100W 150W 250W
 LUNA MINI	Vidrio templado curvo	HPS	50W 70W 100W 150W
		CMH CMH StreetWise™	50W 70W 100W 150W
	Vidrio liso	HPS	50W 70W 100W 150W 250W
		CMH CMH StreetWise™	50W 70W 100W 150W 250W
 SYRA	Vidrio templado curvo	HPS	50W 70W 100W 150W 250W
		CMH CMH StreetWise™	50W 70W 100W 150W 250W
 BRISA	Vidrio templado curvo	HPS	70W 100W 150W 250W 400W
		CMH CMH StreetWise™	70W 100W 150W 250W 400W
 BRISA MINI	Vidrio templado curvo	HPS	50W 70W 100W 150W 250W
		CMH CMH StreetWise™	50W 70W 100W 150W 250W
 DUNA PREMIUM	Directo simétrico	HPS	50W 70W 100W 150W
		CMH CMH StreetWise™	50W 70W 100W 150W
	Directo asimétrico	HPS	50W 70W 100W 150W
		StreetWise™	50W 70W 100W 150W

* Iberia Premium y Odyssey utilizan un reflector especial para su utilización con lámparas CMH StreetWise™
- Las demás operan con el reflector estándar.

ConstantColor™ CMH

StreetWise™

NUEVA generación de lámparas de halogenuro metálico cerámico 50W, 70W, 100W, 150W

Hasta ahora, las autoridades públicas y otras organizaciones tenían que elegir entre iluminación para exteriores de alta calidad y coste elevado o alternativas de bajo coste que, incluso a máxima eficiencia, hacían que las calles y otras zonas parecieran oscuras y apagadas.

La nueva generación de lámparas CMH StreetWise™ de GE especialmente diseñadas para iluminación de exteriores ofrece lo mejor de ambos aspectos. Luz blanca clara y "natural" con bajos costes, tanto de utilización como de mantenimiento.

Con la iluminación de halogenuro metálico cerámico (CMH), las calles y otros espacios públicos parecerán más seguros para los peatones. Más aún; su rendimiento cromático de "luz diurna" mejora la capacidad de los conductores para reconocer formas y colores, especialmente en la visión periférica. Esto también supone reacciones más rápidas por parte de los conductores de vehículos.



Características

- Excelente luz blanca con eficiencia hasta 110 lm/W
- Extraordinario mantenimiento del flujo: 80% a las 12.000 horas
- Regulables para establecer ahorros de energía, excepto en 50W con balasto electromagnético.
- Mejor alternativa de luz blanca a las soluciones de mercurio, sodio de alta presión HPS y cerámica estándar.
- Larga vida, de 24.000 horas
- Sistema flexible: funcionamiento tanto con balastos electrónicos como con electromagnéticos
- Sistema de bajo coste: base estándar, balasto estándar, óptica estándar.
- Posición de funcionamiento horizontal y vertical

Áreas de aplicación

- Alumbrado público
- Embellecimiento de ciudades
- Iluminación de interiores
- Iluminación residencial
- Iluminación de grandes superficies
- Iluminación por proyección
- Estacionamientos, parkings

Gama de productos

La nueva gama de productos de extraordinaria funcionalidad de GE amplía sus ofertas tanto para instalaciones nuevas como para sustituciones de 50-150W. Las bases estándar E27/E40 facilitan una instalación sencilla. La gama completa ofrece ahorros de costes combinados con unas excelentes características de calidad de las lámparas y un ciclo prolongado de sustitución de las mismas.



19

Industrial Solutions (antes GE Power Protection), una división de GE Energy, es un proveedor de primera línea de productos de media y baja tensión que incluye mecanismos, aparataje modular e industrial, automatismos y control, cuadros y armarios.

La mayor demanda de nuestros productos viene por parte de distribuidores de material eléctrico, fabricantes de maquinaria, cuadristas e instaladores de todo el mundo.


www.ge.com/es/industrialsolutions

GE POWER CONTROLS IBÉRICA, S.L.
Polígon Industrial Clot del Tufau, s/n
08295 Sant Vicenç de Castellet (Barcelona)


Asistencia al Cliente
T 900 993 625
F 900 993 622
M asistencia.al.cliente.consind@ge.com



GE imagination at work

Ref. C/46/59/S/S 2.0 Ed. 01/12
© Copyright GE Industrial Solutions 2012


Ficha Técnica



led by dreams.

LUSA N/E

Iluminação Rodoviária



Descrição geral
 O equipamento LUSA N/E foi desenhado para a iluminação pública rodoviária, recorrendo à mais avançada tecnologia LED disponível no mercado e em conformidade com o DMA actualmente em vigor.

Características principais

- Corpo integralmente em alumínio;
- Desenho compacto e robusto;
- Estrutura modular;
- Sistema de regulação da inclinação incorporado;
- Sistema de drenagem e ventilação integrado;
- Cor do equipamento à cor RAL7035;
- Sistema óptico de última geração;
- Diferentes níveis de fluxo luminoso disponíveis;
- Elevado Índice de Restituição Cromática (Ra > 70);
- Temperatura de cor de 4000 K (branco neutro);
- Vida útil elevada (TU > 60.000 H);
- Elevada eficácia luminosa global;
- Sistema de gestão integrado (opcional);


Aplicações

- Iluminação pública rodoviária (EN13201-1);
- Vias de circulação automóvel (VCA) no âmbito do DMA-C71-111/N de Julho de 2013;

Iluminação Pública





CE

230V
50Hz



IP66

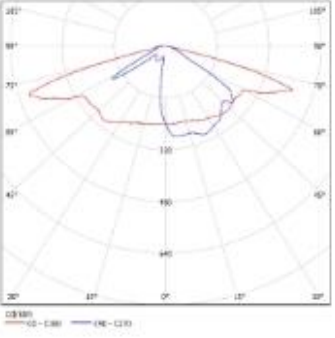
IK09

Especificações fotométricas

Versão	IRC	Temperatura de cor	Fluxo luminoso	Eficácia global
LUSA N/E x16	> 70	4000 K	3898 lm	81 lm/W
LUSA N/E x24			5826 lm	89 lm/W
LUSA N/E x36			8707 lm	96 lm/W
LUSA N/E x48			11400 lm	99 lm/W
LUSA N/E x60			15764 lm	100 lm/W

NOTA: Valores nominais à temperatura ambiente (Ta) de 25 °C.



www.soner.es.pt

1/2

Ficha Técnica

soneres
led by dreams.

Iluminação Pública

Especificações eléctricas

	LUSA N/E x16	LUSA N/E x24	LUSA N/E x36	LUSA N/E x48	LUSA N/E x60
Tensão de entrada (VIn):	230 V AC (90-264 V AC)				
Frequência (F):	50 Hz (47-63 Hz)				
Potência de entrada (Pin):	48,1 W	65,2 W	90,9 W	115,4 W	158 W
Factor de potência (PF):	>0,95				
Classe de protecção**:	Classe I/Classe II*				

NOTA: Valores nominais à temperatura ambiente (Ta) de 25 °C.

(*) - Classe II opcional.

(**) - De acordo com a norma EN60598.

Especificações mecânicas

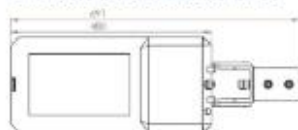
	LUSA N/E x16	LUSA N/E x24	LUSA N/E x36	LUSA N/E x48	LUSA N/E x60
Material do corpo/difusor:	Alumínio/Vidro temperado extra-claro				
Comprimento:	691 mm			785 mm	
Largura:	230 mm			300 mm	
Altura:	90 mm			90 mm	
Resistência aerodinâmica:	0,047 m2			0,052 m2	
Sistema de regulação:	0 ° a -40 ° em múltiplos de 5 °				
Sistema de fixação:	42 e 60 mm				
Índices de protecção:	IP 66*/IK 09**				
Massa (aprox.):	6,8 Kg	6,9 Kg	9,3 Kg	9,5 Kg	9,7 Kg

NOTA: Valores nominais à temperatura ambiente (Ta) de 25 °C.

(*) De acordo com a norma EN60529.

(**) De acordo com a norma EN50102.

LUSA N/E x16/LUSA N/E x24



Vista inferior



Vista frontal

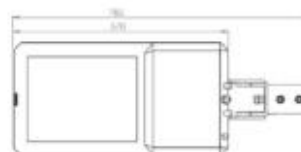


Vista lateral

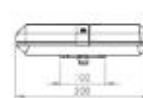


Vista traseira

LUSA N/E x36/LUSA N/E x48/LUSA N/E x60



Vista inferior



Vista frontal



Vista lateral



Vista traseira



medidas em mm

Publicado por:

SONERES - Iluminação Pública, S.A.
Rua Central de Frejufe, 786
Silva Escura
4475-819 Maia - Portugal
Tlf.: +351 229 417 741
Fax: +351 229 417 706
geral@soneres.pt

© Todos os direitos reservados.

Informações adicionais:

As especificações apresentadas neste documento são nominais. Outras especificações poderão ser equacionadas e adequadas aos requisitos particulares de cada um dos possíveis projectos.

Para estas e outras questões adicionais, por favor contactem-nos.

Advertências:

Nos termos gerais do fornecimento dos nossos serviços e/ou equipamentos, a SONERES, S.A. declina qualquer responsabilidade quanto ao uso ou fim atribuído aos mesmos, os quais são da única e exclusiva responsabilidade do cliente.

Como resultado da constante evolução tecnológica e no sentido de disponibilizar para o mercado sempre as soluções mais avançadas, a SONERES, S.A. reserva-se no direito de alterar os dados constantes deste documento sem aviso prévio.

LUSA N/E x16 (04-3014)Rev. C

www.soner.es.pt

2/2